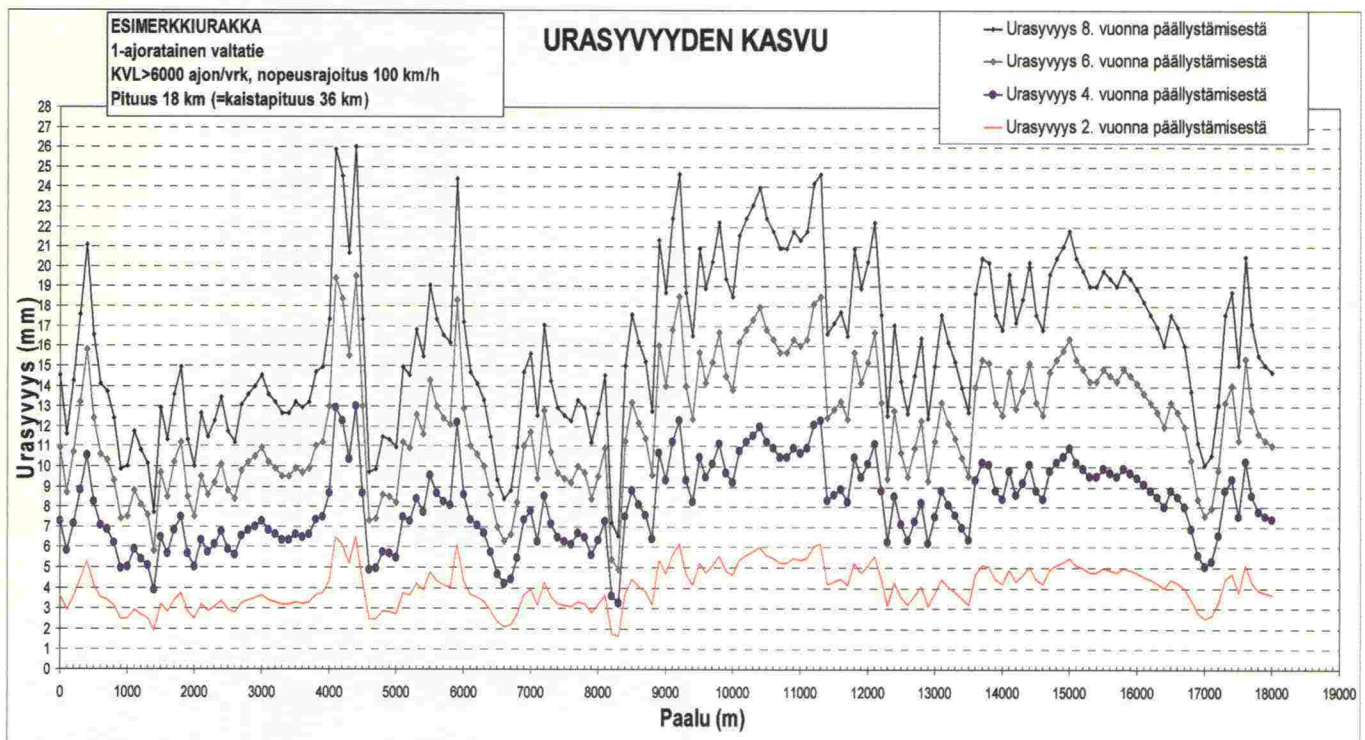


## Ura- ja sivukaltevuustunnusluvun määrittäminen kuntovastuu-urakkaan

Tiehallinnon selvityksiä 40/2005



# **Ura- ja sivukaltevuustunnusluvun määrittäminen kuntovastuu-urakkaan**

**Tiehallinnon selvityksiä 40/2005**



ISSN 1457-9871  
ISBN 951-803-542-3  
TIEH 3200952

Verkkojulkaisu pdf ([www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut))  
ISSN 1459-1553  
ISBN 951-803-543-1  
TIEH 3200952-v

Edita Prima Oy  
Helsinki 2005

Julkaisua myy/saatavana:  
[asiakaspalvelu.prima@edita.fi](mailto:asiakaspalvelu.prima@edita.fi)  
Faksi 020 450 2470  
Puhelin 020 450 011



TIEHALLINTO  
Asiantuntijapalvelut  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 22 11

**Asiasanat:** Urautuminen, kaltevuus, päällysteet, palvelutaso, laatuvaatimukset

**Aiheluokka:** 33, 70

## TIIVISTELMÄ

Vuodesta 2003 lähtien on päällystettyjen teiden palvelutasomittaukset tehty uudella lasertekniikkaan perustuvalla kalustolla, jolla on mahdollista kerätä tieltä mm. sivukaltevuuden, pituuskaltevuuden ja urasyvyyden tunnuslukuja sekä lisäksi joitakin kokonaan uusia tunnuslukuja, kuten tien pintakarkeutta ja tasaisuutta kuvaavia RMS -tunnuslukuja.

Tässä työssä on tarkasteltu palvelutasomittauksilla tuotettua kuntorekisterin mittausaineistoa sekä selvitetty erilaisia mahdollisuuksia käyttää sekä oppia käyttämään uutta mittausaineistoa hyödyksi entistä monipuolisemmin mm. parametri- ja urakkakohtaisten laatuvaatimusten määrittämisessä sekä tiestön tilan kuvaamisessa ja ennustamisessa. Tässä työssä tarkasteltuja parametrejä ovat olleet erityisesti sivukaltevuus- ja uraparametrit sekä näiden soveltaminen tieverkon sivukaltevuuspuutteiden kuvaamisessa ja urautumisen mallintamisessa ja ennustamisessa. Työssä käytetyt mittausaineistot olivat vuoden 2003 palvelutasomittausten tuotantodatasta tuotettu 100 metrin tallennusvälin kuntorekisteriaineisto (yhteen ajosuuntaan, ~25 500km) sekä työtä varten erikseen tuotetut 20 metrin tallennusvälin osa-aineistot (kahteen ajosuuntaan, ~300km).

Sivukaltevuusparametrien ja mittausaineistojen tarkasteluiden avulla määriteltiin periaatteet sekä laadittiin tavoitealgoritmi sivukaltevuuspuutteiden edelleen määrittämiseksi. Määritelty tavoitealgoritmi ottaa huomioon vaakageometrian muutoksista johtuvat sivukaltevuuden muutoskohdat ja noudattaa tien suuntauksen suunnittelun ohjeistuksen määrittelemiä sivukaltevuuden ohjearvoja nopeusrajoitusluokan sekä kaarresäteen huomioon ottaen. Määritellyn tavoitealgoritmin ja kuntorekisterin mittausaineiston perusteella sivukaltevuuspuutteiden määräksi tieverkolla saatiin noin 37% koko tieverkosta. Valtatieverkolla sivukaltevuuspuutteita oli noin neljännes (26%), kun taas yhdystieverkolla sivukaltevuuspuutteita oli jopa yli puolet (51%) koko tarkastellusta tiestöstä.

Ura-aineistotarkasteluiden pohjalta työssä määriteltiin ehdotukset uraparametrin soveltamisesta kuntovastuu-urakan laatumittarina eli "urakriteerinä". Ehdotukset urakriteereiksi laadittiin erillisinä "paketteina", joiden kunkin osalta esitettiin esimerkein miten urautuminen kehittyisi urakan aikana, miten urautumiselle asetettuun laatuvaatimukseen mahdollisesti reagoitaisiin ja millaisia vaikutuksia erilainen reagointi ja eri toimenpiteet mahdollisesti aiheuttaisivat. Tilastollisilla tarkasteluilla erilaisissa tiestön osaverkoissa selvitettiin lisäksi päällystetyn tiestön urautumista sekä eri tekijöiden vaikutusta tiestön urautumiseen. Tehdyillä tarkasteluilla selvitettiin mm. KVL:n, tien leveyden ja vaakageometrian vaikutusta teiden urautumiseen. Tilastollisten tarkasteluiden pohjalta määriteltiin edelleen erilliset urautumismallit 1-ajoratisille sekä 2-ajorataisille teille. Massatyypin sekä päällystekiviaineksen vaikutusta urautumiseen selvitettiin tekemällä tarkastelut sekä ilman että päällystekiviaineksen kuulamylyarvot ja massatyypin huomioon ottavilla urautumismalleilla.



**Study of utilization of crossfall and rut depth indicators in pavement performance contracts.** Helsinki 2005. Finnish Road Administration. Finnra internal reports 40/2005. 70 p. + app. 22 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-542-3, TIEH 3200952-05.

**Keywords:** Rutting, crossfall, pavement, quality of service, quality requirements

## SUMMARY

Road condition measurements have been executed with laser-based technologies in Finland since year 2003. Within new measurement methods it is possible to produce high quality road surface indicators, like crossfall, gradient and rut depth indicators, and many other already known indicators or some totally new indicators, like RMS -indicators.

Aim of this study was to consider measured surface data and to learn to use road surface indicators in more complex manner and to define and to predict road condition. Road surface data used in this study covered about 25 500 km of paved roads of the finnish road network and was measured during summer 2003.

The most important indicators in this study were crossfall indicators (crossfall regression and crossfall surface line) and maximum rut depth. Crossfall indicators and crossfall algorithm developed in addition of study were used to solve the amount of lack in crossfall on the road network. Rut depth data were used to express distribution of rutting on paved road network and its subnetworks. Further with these results it was developed formulas and estimations to calculate how rutting will proceed on paved road network.

In relation to study the amount of lack of crossfall on the road network were 37 % of whole network included on study. On main road network the amount of lack of crossfall were about 26 % and the inferior road network the amount of lack of crossfall were about 51 % of the whole network included. Through statistical analysis in different and specified categories were developed formulas to calculate rutting of pavements caused by studded tires. Classification of the used data in the analysis was made according to traffic flow, road width and road geometry. The formulas developed were taken into account asphalt mixture and aggregate and were written out on both 1- and 2-garriageway roads.

## ESIPUHE

Tämä selvitys on tehty Tiehallinnon teknisten palveluiden tie- ja geotekniikan tilauksesta. Työn tarkoituksena on ollut selvittää uudella mittaustekniikalla tuotetun palvelutasomittaustiedon hyödyntämismahdollisuuksia päällystysurakoiden laatuvaatimusten määrittämisessä sekä päällystetyn tiestön kuntotilantilan tarkasteluissa.

Tämän selvityksen tulosten perusteella esitetyt ja toimivuusvaatimuksen asettajaa palvelevat suositukset ovat sivuilla:

sivut 16-27	Uraa koskeva laatuvaatimus
sivut 48-52	Sivukaltevuus
sivut 63-65	Urasyvyyden ennustaminen uudella tiellä

Selvitystyötä on ohjannut projektiryhmä, johon ovat kuuluneet:

Kari Lehtonen Tiehallinto, tie- ja geotekniikka (pj.)  
Ismo Iso-Heiniemi Tiehallinto, suunnittelun tietotuki  
Arvo Lähde Vaasan tiepiiri, tienpidon ohjelmat  
Kati Rantanen Tiehallinto, tie- ja geotekniikka

Lisäksi työn kuluessa on saatu arvokkaita kommentteja ja näkemyksiä Pekka Toiviaiselta Oulun tiepiiristä.

Selvitys on tehty Ramboll Finland Oy:n Oulun aluetoimistossa. Työn tekemisestä ja tilastollisista analyyseistä on vastannut FM Seppo Järvinen. Työn asiantuntijana on toiminut DI Mika Vehmas.

Työhön on oleellisena osana liittynyt sivukaltevuuden tavoitearvojen määrittämiseksi tehdyt tarkastelut opinnäytetyönä Oulun seudun ammattikorkeakoulussa. Opinnäytetyötä on tehnyt insinöörioppilas Janne Hirvelä lehtori Rauno Turusen ohjauksessa.

Helsingissä kesäkuussa 2005

Tiehallinto  
Asiantuntijapalvelut

**Sisältö**

1	JOHDANTO	9
2	URA	11
2.1	Yleistä	11
2.2	Urautuneisuuden vaihtelu eri tarkastelutasoilla	11
2.3	Ehdotus kuntovastuu-urakan urakriteeriksi	17
3	SIVUKALTEVUUS	28
3.1	Yleistä	28
3.2	Virheet ja poikkeavuudet tutkimusaineistoissa	28
3.3	Lähtöaineisto	29
3.4	Vaakageometrian loogisuus	33
3.5	Sivukaltevuuden muutoskohdat	38
3.6	Tavoitealgoritmi	40
3.7	Sivukaltevuuspuutteet	42
3.7.1	Sivukaltevuuspuutteiden määrät	42
3.7.2	Sivukaltevuuspuutteiden tieosakohtaiset tarkastelut	48
3.8	Sivukaltevuusprofiili 10-metrin aineistosta	50
3.9	Suositus mittausten ja mittausaineiston kehittämiseksi	53
3.10	Suositus sivukaltevuusalgoritmiksi ja sen kehittämiseksi	54
4	URAUTUMISMALLIT	55
4.1	Yleistä	55
4.2	Aineisto	55
4.3	Urautumismallitarkastelut	57
4.3.1	Osaverkkojako	57
4.3.2	Urautumisnopeus eri osaverkoissa	57
5	LIITTEET	70





## 1 JOHDANTO

Päällystettyjen teiden palvelutasomittaukset on aloitettu kattavasti vuonna 1989. Koko tieverkon mittauskierto on noin 2 vuotta poikkeuksena päätiet, jotka mitataan yleensä joka vuosi. Vuodesta 2003 lähtien on tieverkkoa mitattu Ramboll RST:n uudella lasertekniikkaan perustuvalla kalustolla, jolla on mahdollista kerätä tieltä mm. sivukaltevuus, pituuskaltevuus ja lukuisia epätasaisuutta kuvaavia uusia ja aikaisempaa tarkempia tunnuslukuja.

Tässä työssä on tarkasteltu palvelutasomittauksilla tuotettua kuntorekisterin mittausaineistoa. Työn tarkoituksena on ollut selvittää erilaisia mahdollisuuksia käyttää sekä oppia käyttämään uutta mittausaineistoa hyödyksi entistä monipuolisemmin parametri- ja urakkakohtaisten laatuvaatimusten määrittämisessä sekä tiestön tilan kuvaamisessa ja ennustamisessa. Kuntorekisterin parametreista on käytetty tietoja urasyvyydestä, sivukaltevuudesta ja kaarresäteestä sekä osaksi yksittäisiä laserkohtaisia mittausarvoja ja paikkatietoa. Lisäksi on käytetty vertailutietoina Tiehallinnon tierekisterin kaarteisuustietoa kahteen suuntaan mitatun tieverkon sekä tietoja talvinopeusrajoituksista koko tutkimuksessa käsitellyn tieverkon osalta. Työssä käytettyjä luokittavia parametreja ovat olleet tieosoitetietojen lisäksi tien toiminnallinen luokka, nopeusrajoitus, liikennemäärä sekä päällystetyyppi. Tämän raportin yhteydessä ei ole erikseen kuvattu mittausaineiston eri parametreja tai näiden määrittelyjä. Tarvittaessa mittausaineistojen parametrien tarkat määrittelyperusteet sekä parametrikuvaukset (mm. tien pinnan Laser RST – kuntoparametrit Suomessa) ovat saatavissa Tiehallinnosta.

Työssä käytetyn mittausaineiston laajuus on yhteensä noin 25 500 km, josta suurin osa on vuoden 2003 kesämittausaineistoa. Kuntorekisterin mittausaineisto on tuotettu yhteen ajosuuntaan mitaten eli kultakin mitatun tien ajoradan toiselta ajokaistalta. Kuntorekisterin mittausaineiston tulostusväli on 100 m. Osasta mitattavista parametreista on kuntorekisterissä tiedot myös 50-metrin välein. Näitä 50 m:n välein tallennettavia parametreja ovat sivukaltevuus, pituuskaltevuus ja kaarteisuus. Kuntotietojen paremman hyödyntämisen ja tarkastelujen tarkkuuden lisäämiseksi kuntorekisteriaineisto on näiltä osin muokattu ”pitkäksi”, 50-metrin tulostusvälin mittausaineistoksi. Kuntorekisterin mittausaineiston lisäksi tutkimuksessa on käytetty rajatulta tiestöltä kahteen suuntaan (ajoradan molemmat ajosuunnat) mitattua mittausaineistoa. Tämä mittausaineisto on tuotettu sekä 50 metrin että 10 metrin tulostusväleillä. Kahteen suuntaan mitatun aineiston laajuus on yhteensä noin 300 km.

Työssä käytetyn kuntorekisterin mittausaineiston laajuus tiekilometreinä sekä aineiston jakautuminen päällystelajin, toiminnallisen luokan, KVL:n ja nopeusrajoituksen mukaan tiestön eri osaverkoille on esitetty taulukossa 1. Taulukossa on esitetty lihavoidulla fontilla se osa aineistosta, jossa aineistomäärä on katsottu riittävän laajaksi (> 100 km) osaverkkokohtaisissa tarkasteluissa käytettäväksi.

Työssä tehdyt tarkastelut tuloksineen on esitetty tässä raportissa kolmena erillisenä kokonaisuutena siten, että uratietoa käsittelevät asiat ovat luvussa 2, sivukaltevuustietoa käsittelevät asiat luvussa 3 ja urautumisen ennustamiseksi määritellyt urautumismallit luvussa 4.

*Taulukko 1. Työssä käytetyn kuntorekisterin mittausaineiston jakautuminen osaverkkoihin toiminnallisen luokan, liikennemäärän ja nopeusrajoituksen mukaisesti.*

			Nopeusrajoitus km/h					
PL	Toim.luokka	KVL	<60	60	80	100	>100	Kaikki
AB	Valtatie	1 - 349	0.3		17.6	17.0		34.8
		350-1500	8.4	15.2	85.7	746.1		855.4
		1501-6000	16.6	95.1	783.7	2770.3		3665.7
		6001-	17.6	143.0	537.9	1093.7	813.9	2606.1
	Kantatie	1 - 349	0.2	0.5	4.0	5.8		10.4
		350-1500	5.9	20.7	111.5	575.9		714.0
		1501-6000	28.4	80.9	294.2	740.8		1144.3
		6001-	18.5	23.3	209.6	147.0		398.5
	Seututie	1 - 349	1.4	5.1	18.3	0.1		24.9
		350-1500	40.9	76.4	313.6	124.7		555.6
		1501-6000	151.1	352.4	980.4	386.9		1870.8
		6001-	45.9	118.9	138.8	3.3		306.9
	Yhdystie	1 - 349	29.5	16.9	86.2			132.6
		350-1500	191.9	214.5	242.2	2.1		650.8
		1501-6000	384.6	356.1	216.6			957.2
		6001-	56.0	54.0	19.5	6.4		135.9
PAB	Valtatie	1 - 349		0.8	54.0	90.1		144.8
		350-1500	3.4	17.6	121.8	419.9		562.7
		1501-6000		2.9	11.7	27.3		41.8
	Kantatie	1 - 349	0.4	7.1	28.7	151.9		188.1
		350-1500	2.7	39.8	214.8	880.1		1137.4
		1501-6000	0.9	7.8	35.8	43.1		87.6
	Seututie	1 - 349	3.5	39.5	720.5	171.5		934.9
		350-1500	33.1	158.8	1300.7	511.7		2004.3
		1501-6000	16.1	28.8	99.4	24.3		168.6
	Yhdystie	1 - 349	156.1	260.0	2161.2	81.1		2658.4
		350-1500	236.5	447.1	1264.4	5.0		1952.9
		1501-6000	52.3	43.2	76.1			171.5
6001-		1.2	1.7				2.9	
SOP	Seututie	1 - 349		0.1	50.3			50.4
		350-1500	0.3		1.7			2.0
	Yhdystie	1 - 349	69.7	88.8	1107.5			1265.9
		350-1500	3.2	10.1	61.2			74.5
Yht.	(km)		1576.5	2727.0	11369.5	9025.9	813.9	25512.8



## 2 URA

### 2.1 Yleistä

Tässä luvussa on tarkasteltu kuntorekisterin mittausaineistojen avulla miten urautuneisuus vaihtelee tiestön eri osaverkoilla ja erityisesti tieosien ja päällystyshankkeiden sisällä. Tehtyjen tarkastelujen painopiste on ollut ylemmällä ja vilkasliikenteisellä tieverkolla.

Urautuneisuuden vaihtelua käytettiin lähtötietona urasyvyyden ja urautumisen laatuvaatimusten määrittämiseksi. Tarkastelujen avulla laadittiin edelleen ehdotukset vaihtoehtoisiksi "urakriteereiksi" eli laatuvaatimukset urasyvyydelle ja urautumiselle kuntovastuu-urakassa käytettäväksi. Urasyvyys-tietona tarkasteluissa on käytetty lanka-ura -menetelmällä määritettyä päällysteen urasyvyyttä.

### 2.2 Urautuneisuuden vaihtelu eri tarkastelutasoilla

Urautuneisuuden vaihtelun arvioimiseksi tuotettiin erilaisia jakauma- ja homogeenisuustaulukoita sekä uraprofiilikuvaaajia eri tarkastelutasoilla. **Käytetyjä tarkastelutasoja olivat tienumerotaso, tieosataso sekä päällystyshanketaso.**

**Tienumerotason** ja **tieosatason** tarkastelutasojen luokittajana oli yksiselitteisesti joko yksittäinen tienumero tai yksittäinen tieosa kunkin tienumeron sisällä. **Päällystyshankkeella** tässä yhteydessä tarkoitetaan minimipituudeltaan vähintään 0,5 km pituista, päällystetyypin ja päällysteen iän perusteella yhtenevistä peräkkäisistä tiejaksoista muodostettua kokonaisuutta.

Urautuneisuuden homogeenisuutta (urasyvyyden vaihtelun suuruutta) eri tarkastelutasoilla on kuvattu urasyvyyden kvartiilien erotuksen jakautumien avulla. Tässä raportissa on esitetty ainoastaan tieosa- ja päällystyshanketaso- tarkastelujen tuloksia.

#### Tieosa-tason homogeenisuus

Tieosatason homogeenisuutta on kuvattu urasyvyyden kvartiilien erotuksen jakautumina taulukoissa 2 ja 3.

Taulukossa 2 tieosapituus on jaettu 4 eri luokkaan vaihdellen vajaasta kilometristä yli 4 km pituuteen. Esimerkiksi taulukon 2 mukaan yli 4 km:n tieosia valtateillä oli 470 kpl. Taulukossa siis yksi havainto on yksi tieosa, joten taulukkoa luettaessa huomio kiinnittyy siihen, missä suurimmat aineistokeskitymät sijaitsevat.

Taulukon 2 perusteella valtateiden uran kvartiiliero on enimmäkseen alle 2mm, jolloin voidaan todeta uran vaihtelun olevan melko vähäistä kuten kuvista 7-9 käy ilmi. Alemmalla tieverkolla uran vaihtelu lisääntyy jonkin verran ollen vähintään 2 mm.

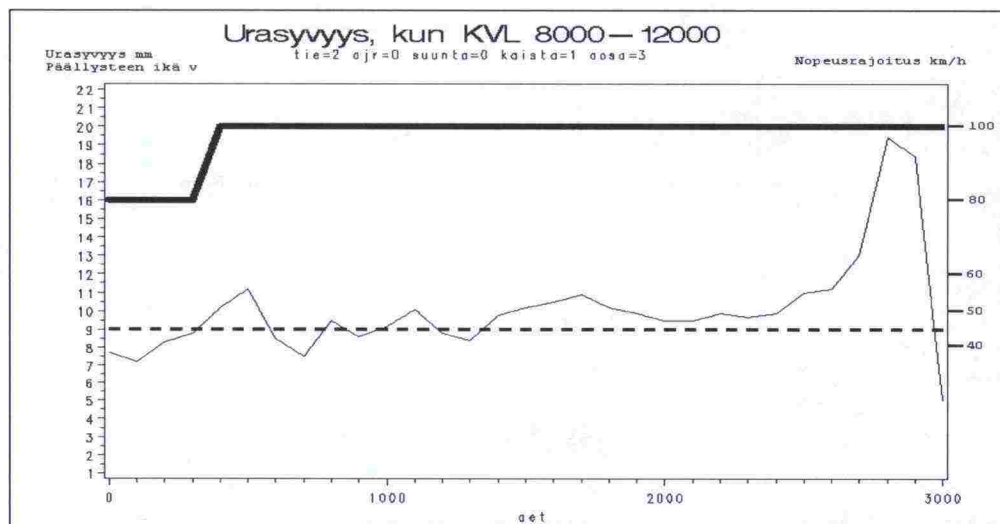
**Taulukko 2.** *Urasyvyyden vaihtelu tieosatasolla urasyvyyden kvartiilieroje ja tieosapituuksien mukaisesti.*

Tieosien lukumäärä		Tieosapituus				
Toiminnallinen Luokka	Uran kvartiiliero T=75-25 %	<1 km	1 - 2 km	>2 - 4 km	> 4 km	Yhteensä
Valtatie	< 2 mm	245	46	189	470	950
	2-4 mm	20	43	159	433	655
	>4 mm	11	10	73	163	257
Kantatie	< 2 mm	76	11	75	161	323
	2-4 mm	2	11	70	245	328
	>4 mm	5	3	23	102	133
Seututie	< 2 mm	16	41	85	246	388
	2-4 mm	15	42	134	378	569
	>4 mm	11	36	68	194	309
Yhdystie	< 2 mm	75	89	160	258	582
	2-4 mm	70	122	232	475	899
	>4 mm	47	64	143	262	516
Yhteensä		593	518	1411	3387	5909

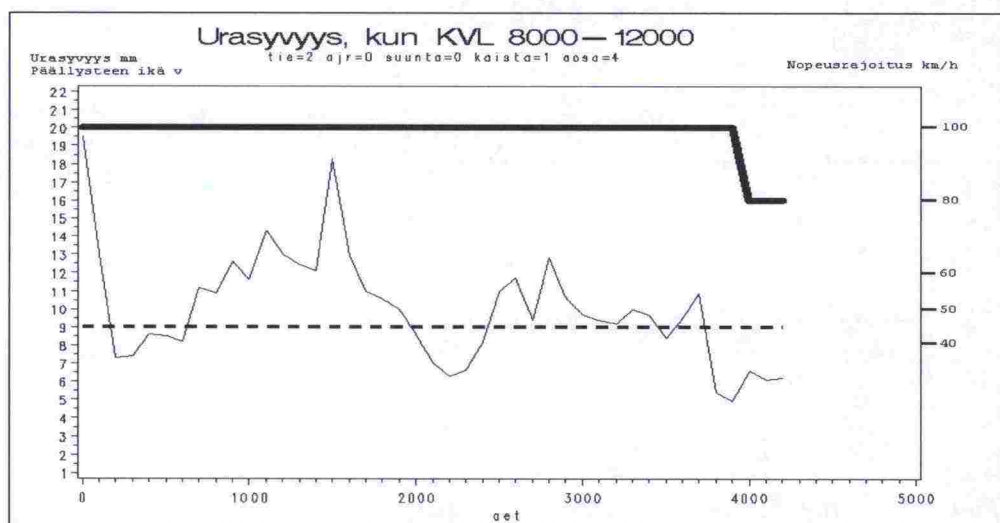
**Taulukko 3.** *Urasyvyyden vaihtelu tieosatasolla urasyvyyden kvartiilierojen ja tieosapituuksien mukaisesti.*

Tieosien lukumäärä		Tieosapituus				
Toiminnallinen Luokka	Uran kvartiiliero T=90-10 %	<1 km	1 - 2 km	>2 - 4 km	> 4 km	Yhteensä
Valtatie	< 2 mm	223	16	53	102	394
	2-4 mm	21	34	150	379	584
	>4 mm	32	49	218	585	884
Kantatie	< 2 mm	69	7	16	27	119
	2-4 mm	5	5	57	140	207
	>4 mm	9	13	95	341	458
Seututie	< 2 mm	8	3	22	38	71
	2-4 mm	12	36	64	210	322
	>4 mm	22	80	201	570	873
Yhdystie	< 2 mm	32	18	25	28	103
	2-4 mm	45	71	134	222	472
	>4 mm	115	186	376	745	1422
Yhteensä		593	518	1411	3387	5909

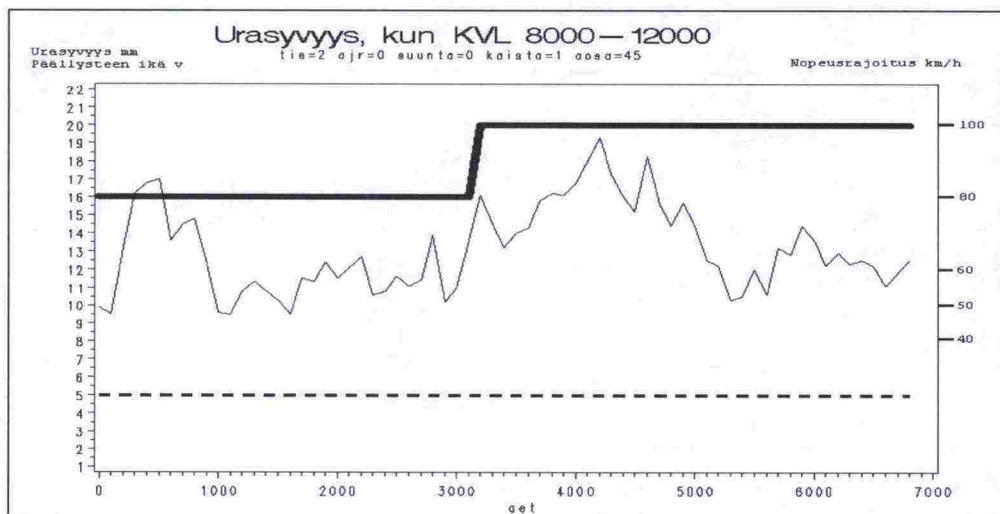
Tieosatason urautuneisuuden tarkastelemiseksi tuotettiin aineistosta lisäksi esimerkkikuvaajia tieosakohtaisista urasyvyyden pituusprofiileista. Urautuneisuuden pituusprofiilikuvaajat tuotettiin osaverkosta, jonka toiminnallinen luokka on valtatie ja KVL 8000-12000 ajon/vrk. Esimerkkiprofiileja on esitetty kuvissa 1-9. Tieosatason profiilikuvissa vaaka-akselilla on esitetty tieosan paalulukema. Vasemman puoleisella pystyakselilla on esitetty urasyvyys ja päällysteen ikä ja oikean puoleisella pystyakselilla nopeusrajoitus. Urasyvyys on esitetty yhtenäisellä ja ohuella viivalla, päällysteen ikä katkoviivalla ja nopeusrajoitus paksulla yhtenäisellä viivalla.



Kuva 1. Vt 2, tieosan 3 urasyvyiden pituusprofiili.

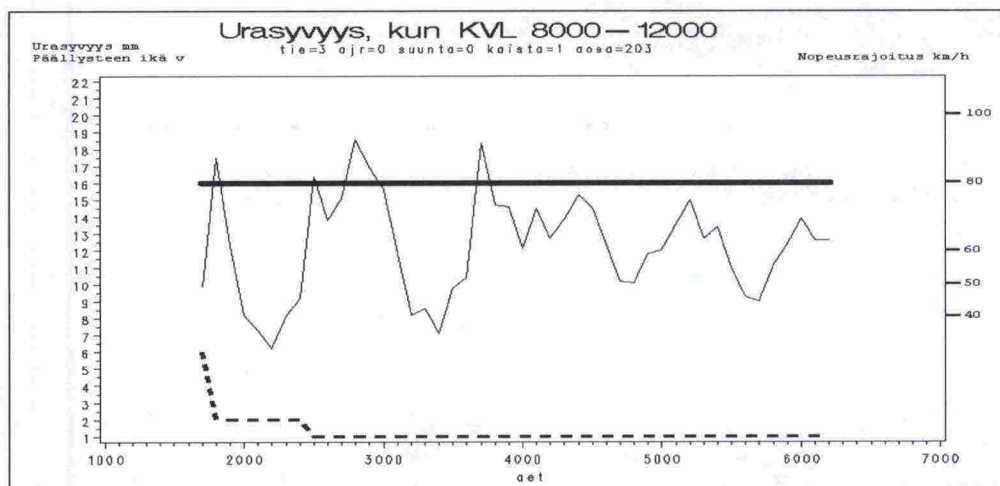


Kuva 2. Vt 2, tieosan 4 urasyvyiden pituusprofiili.

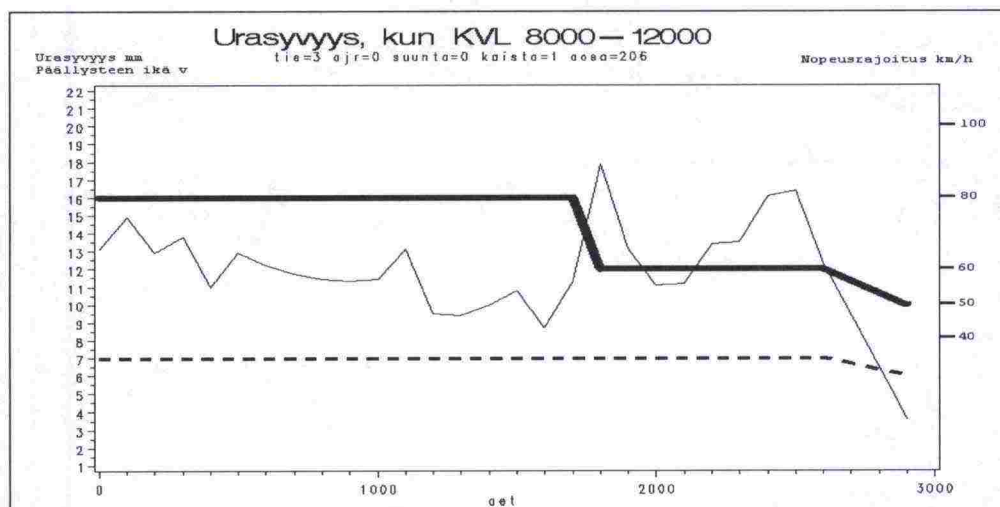


Kuva 3. Vt 2, tieosan 45 urasyvyiden pituusprofiili.

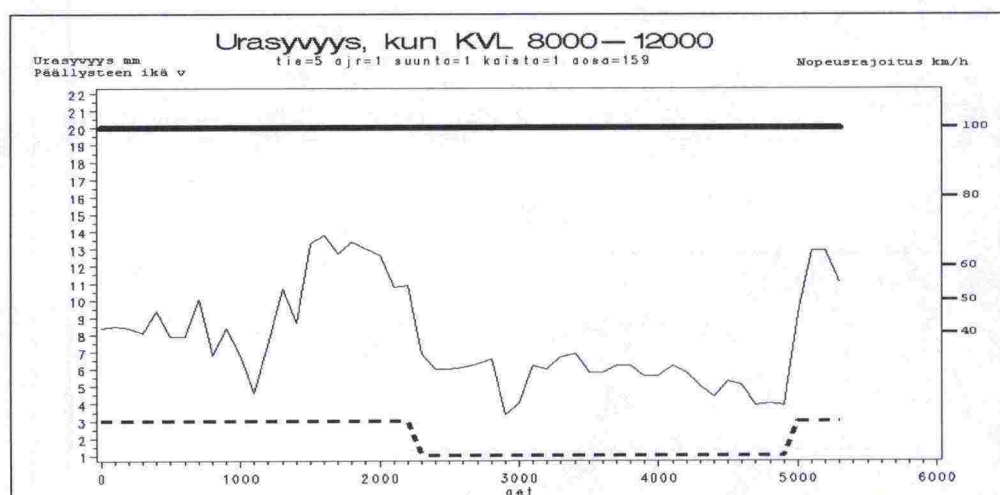




Kuva 4. Vt 3, tieosan 203 urasyyvyiden pituusprofiili.

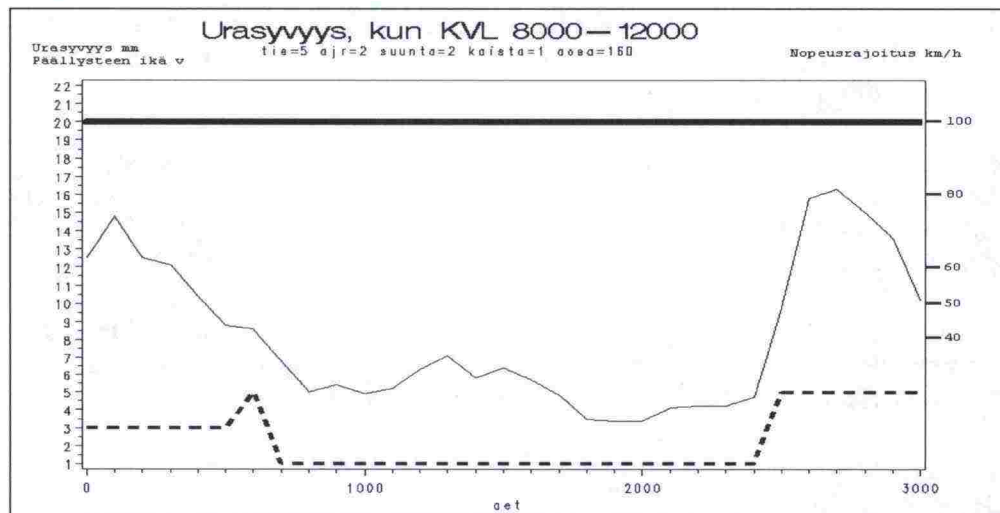


Kuva 5. Vt 3, tieosan 206 urasyyvyiden pituusprofiili.

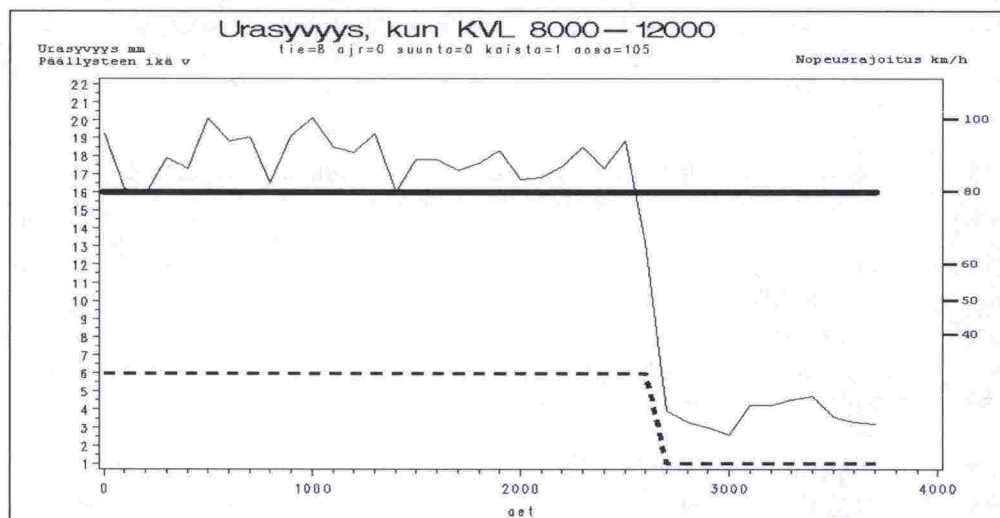


Kuva 6. Vt 5, tieosan 159 urasyyvyiden pituusprofiili.

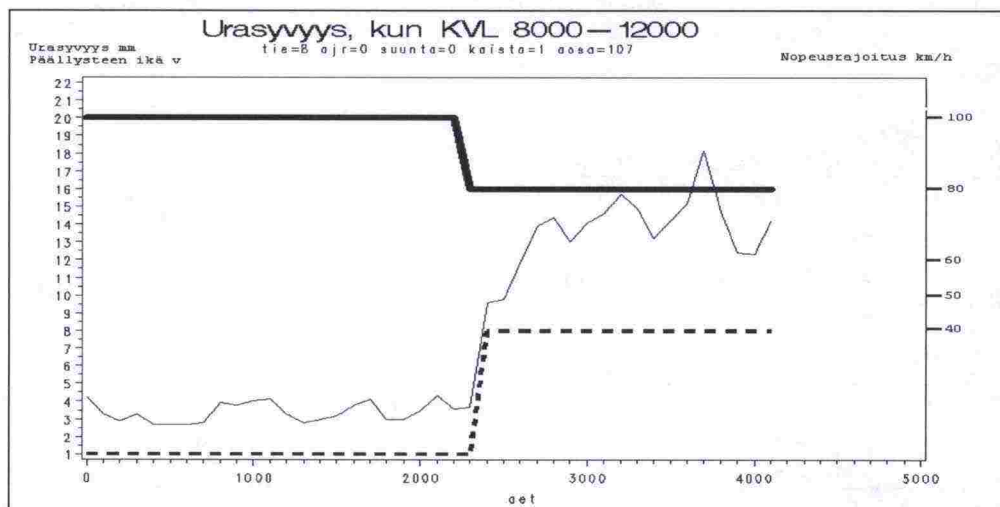




Kuva 7. Vt 5, tieosan 160 urasyyvyden pituusprofiili.



Kuva 8. Vt 8, tieosan 105 urasyyvyden pituusprofiili.



Kuva 9. Vt 8, tieosan 107 urasyyvyden pituusprofiili.

Kuvista 1-3 voidaan nähdä miten urasyvytydet vaihtelevat huomattavasti tieosan sisällä. Kuvista voidaan myös nähdä, että nopeusrajoituksen muutoksen vaikutus urasyvyyteen on hyvin vähäistä.

Kuvissa 4-6 urasyvyyden vaihtelu on myös melko suurta. Kuvista 4 ja 6 voidaan tehdä myös seuraava lisähavainto: kyseisen vuoden päällystystyöt lie-  
nee tehty vasta uramittausajankohdan jälkeen, sillä urasyvytydet (erityisesti kuvassa 4) ovat epätodennäköisen suuria 1 vuoden ikäiselle päällysteelle.

Kuvat 7-9 ovat melko tyypillisiä aineiston urasyvyyskuvaajia. Kuvaajissa urasyvytydet käyttäytyvät hyvin loogisesti päällysteen iän kanssa. Urasyvyyden vaihtelu tieosan sisällä on myös johdonmukaisen tasaista.

### Päällystyshankkeen homogeenisuus

Tarkastellusta aineistosta määritettyjen päällystyshankkeiden lukumääräksi ja hankkeiden keskimääräiseksi pituudeksi saatiin taulukossa 4 esitetyt määrät.

Taulukko 4. Vertailutaulukko hankemääristä ja hankkeiden keskipituuksista.

	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie
Hankemäärä	1361 kpl / 5.8km	629 kpl / 5.9km	1223 kpl / 4.9km	2369 kpl / 3.4km

Päällystyshankkeiden homogeenisuutta arvioitiin urasyvyyden kvartiilierojen perusteella. Taulukossa 5 on esitetty vertailut 75- ja 25-prosenttipisteiden erotuksena ja taulukossa 6 90- ja 10-prosenttipisteiden erotuksena. Taulukoissa on esitetty lisäksi päällystyshankkeiden jakautuminen hankepituuden ja tien toiminnallisen luokan mukaan.

Taulukon 5 perusteella valtateiden uravaihtelu on vähäistä ollen alle 2 mm. Alemmalla verkolla uravaihtelu kasvaa jonkin verran ollen noin 2-4 mm hankkeella.

Taulukko 5. Urasyvyyden vaihtelu urasyvyyden kvartiilierojen ja hankepituuksien mukaisesti samana vuonna päällystetyillä hankkeilla.

Hankkeiden lukumäärä		Hankepituus				
Toiminnallinen Luokka	Uran kvartiiliero T=75-25 %	<1 km	1 - 2 km	>2 - 4 km	> 4 km	Yhteensä
Valtatie	< 2 mm	126	110	125	267	628
	2-4 mm	76	103	92	277	548
	>4 mm	43	46	33	63	185
Kantatie	< 2 mm	52	50	53	98	253
	2-4 mm	34	48	43	157	282
	>4 mm	16	13	24	41	94
Seututie	< 2 mm	74	83	89	151	397
	2-4 mm	66	103	124	251	544
	>4 mm	56	66	57	103	282
Yhdystie	< 2 mm	190	196	202	207	795
	2-4 mm	175	243	275	344	1037
	>4 mm	91	130	159	157	537
Yhteensä		999	1191	1276	2116	5582

Taulukko 6. Urasyvyyden vaihtelu urasyvyyden kvartiilierojen ja hankepituuksien mukaisesti samana vuonna päällystetyillä hankkeilla.

Hankkeiden lukumäärä		Hankepituus				
Toiminnallinen luokka	Uran kvartiiliero T=90-10 %	<1 km	1 - 2 km	>2 - 4 km	> 4 km	Yhteensä
Valtatie	< 2 mm	36	37	27	53	153
	2-4 mm	76	79	101	233	489
	>4 mm	133	143	122	321	719
Kantatie	< 2 mm	18	13	13	15	59
	2-4 mm	26	41	33	89	189
	>4 mm	58	57	74	192	381
Seututie	< 2 mm	17	21	16	28	82
	2-4 mm	45	63	72	138	318
	>4 mm	134	168	182	339	823
Yhdystie	< 2 mm	43	42	34	26	145
	2-4 mm	126	163	167	184	640
	>4 mm	287	364	435	498	1584
Yhteensä		999	1191	1276	2116	5582

Taulukkojen 2 ja 3 perusteella tieosien sisällä urasyvyyden vaihtelu on kuten taulukkojen 5 ja 6 perusteella päällystyshankkeen sisällä.

Valtateillä urasyvyyden vaihtelu on vähäisempää kuin alemmalla tieverkolla, mikä selittyy suurelta osin vaakageometrian suurempien elementtien perusteella. Valtateiden urautuminen on tyypillisesti esimerkkikuvien 7-9 kaltaista kun taas alemmalla tieverkolla vaihtelu on enemmänkin esimerkkikuvien 1-3 mukaista.

### 2.3 Ehdotus kuntovastuu-urakan urakriteeriksi

Kuntovastuu-urakan laaturajaksi määritettävä suurin sallittu urasyvyys, esimerkiksi 16 mm, ei ole välttämättä kovin yksikäsitteinen laaturaja. Tämän takia kuntovastuu-urakan laaturajoja ja sen erilaisia tulkintamahdollisuuksia on tarpeen käsitellä hieman yksityiskohtaisemminkin. Tarkastelujen avulla on pyritty kuvaamaan mahdollisia tulkintaeroja ja niiden vaikutuksia määrittelyihin laatuvaatimuksiin. Samalla on haettu uudenlaista laatuvaatimusten lähestymis- ja määrittelytapaa päällystysurakan urakriteeriksi eli laatuvaatimusta uralle ja urautumiselle kuntovastuu-urakassa.

Ehdotukset kuntovastuu-urakan urakriteereiksi on esitetty tässä kappaleessa erilaisina "vaihtoehtopaketteina". Esitetyt "paketit" ovat:

- Ia, Ib ja Ic
- Ila, Ilb ja Ilc
- III

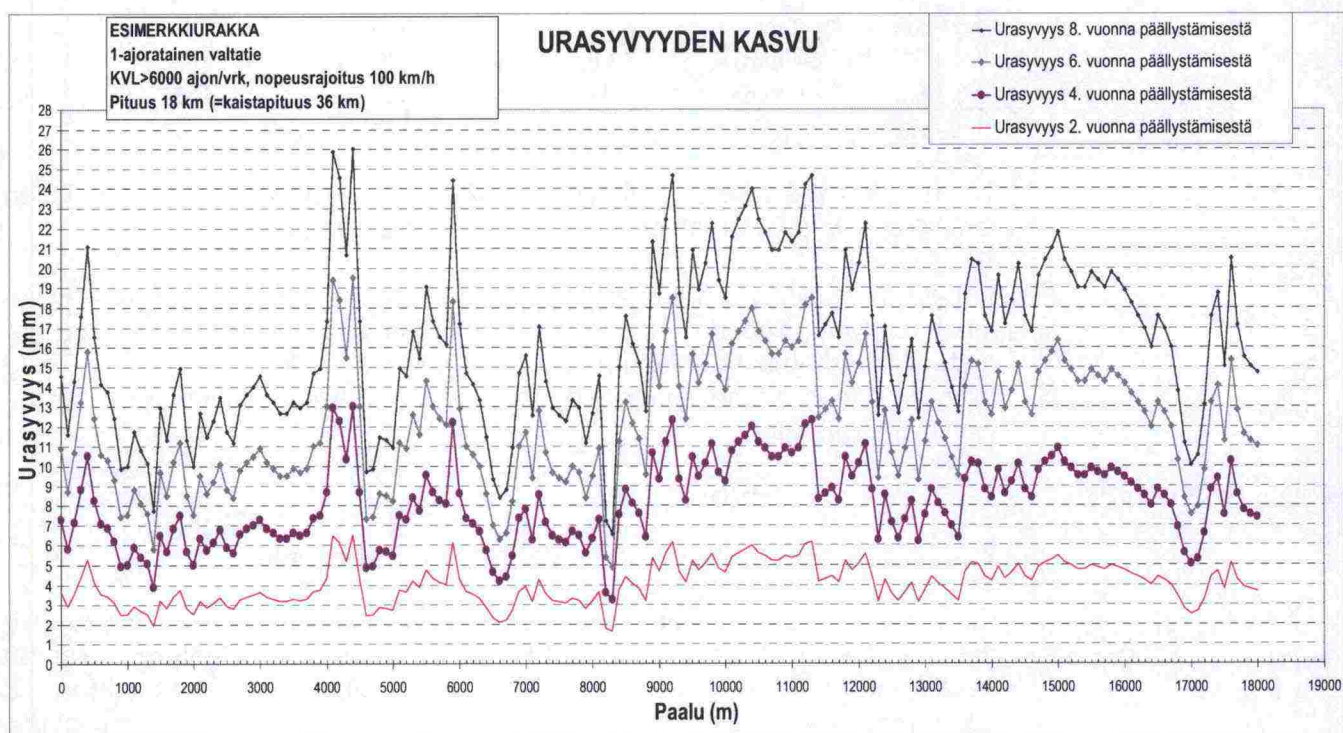
Vaihtoehtopaketeittain on lisäksi esitetty ja selitetty vaihtoehtoisia ja tarkentavia laatuvaatimuksia, joiden avulla vaihtoehtopaketteja on mahdollista tarkentaa tai rajata kulloisenkin urakan tarpeisiin sopivaksi.



Esimerkkien avulla on pyritty selventämään miten raja-arvoja voidaan tulkita ja millaisin toimenpitein asetettuihin vaatimuksiin voidaan vastata. Käytetyt raja-arvot ja tulkinnat ovat suuntaa-antavia. **Esimerkeissä esitettyjä uraroja ei saa sellaisenaan siirtää millekään tielle tai urakkaan.**

Vaihtoehtopakettien esittelyssä ja tulkinnassa on käytetty seuraavanlaista esimerkkiurakkaa:

- 1-ajoratainen valttatie
- pituus 18 km yhteen suuntaan (= kaistapituus 36 km)
- KVL >6000 ajon/vrk, nopeusrajoitus 100 km/h
- urasyvyyden vuosittainen kasvu on keskimäärin saman suuruista kummallakin ajokaistalla. Urasyvyyden vuosittainen kasvu päällystämisaikakohdasta lukien on kuvan 10 mukainen.



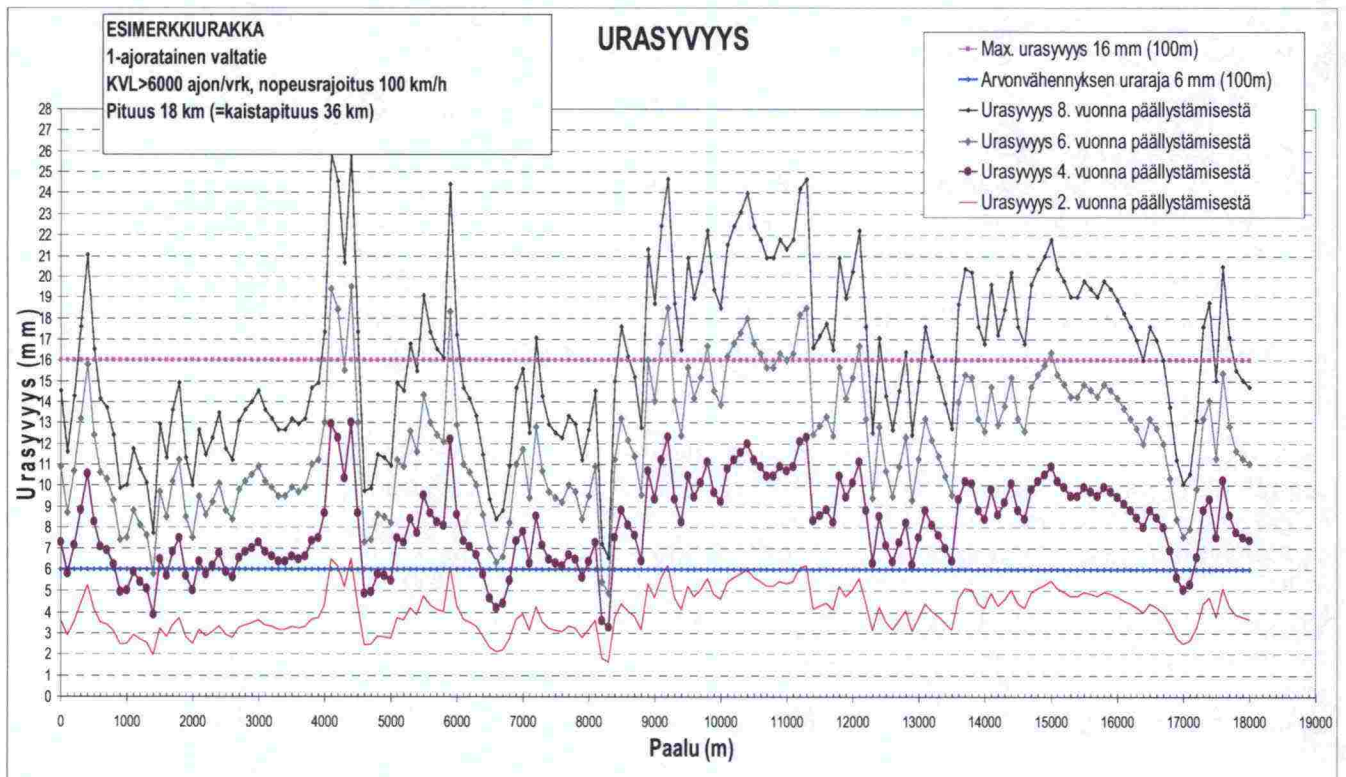
Kuva 10. Esimerkkiurakan urasyvyys eri vuosina (uudelleen)päällystämis ajan- kohdasta lukien.

## EHDOTUKSET KUNTOVASTUU-URAKAN URAKRITEEREIKSI

### PAKETTI la

Esimerkissä koko urakkaa käsitellään yhtenä 18 km:n pituisena kokonaisuutena. Urakriteerit **paketissa la** ovat:

- yksittäisen 100 m:n osuuden urasyvyys ei saa ylittää asetettua raja-arvoa **16 mm**.
- kiinteä arvovähennys (**15 €/100m/vuosi**) kummassakin ajosuunnassa, missä urasyvyys ylittää arvovähennysperusteeksi asetetun raja-arvon **6 mm**.



Kuva 11. Paketin I urarajat ja urasyvyyden kasvu esimerkkiurakassa

### **Urarajan ylittyminen**

Urasyvyyden kuvaajan (kuva 11) perusteella ensimmäiset 100 m:n osuudet ylittävät asetetun urasyvyyden raja-arvon (16mm) viidentenä vuonna päällystämisaikankohdasta eli viimeistään tällöin tulee tehdä ensimmäiset korjaavat toimenpiteet. Teoreettisesti kuudentena vuonna raja-arvon ylittäviä osuuksia olisi noin 12 % ja kahdeksantena vuonna jo noin 51 % koko urakasta.



**PAKETTI Ia****Arvonvähennysten muodostuminen**

Kuvan 11 perusteella ensimmäiset 100 m:n osuudet ylittävät arvonvähennykselle asetetun raja-arvon (6mm) toisena vuonna päällystämisaikajankohdasta. Kolmantena vuonna noin 50 % ja neljäntenä vuonna noin 98 % 100m:n osuuksista ylittää 6 mm:n raja-arvon.

Ilman korjaavia toimenpiteitä ensimmäisten neljän vuoden aikana urakriteeriperusteiseksi arvonvähennykseksi tulisi suunnilleen:

1. vuosi	- €	
2. vuosi	150 €	
3. vuosi	2700 €	
4. vuosi	5300 €	
5...vuodet	max. 5400 €	(kokonaissummasta poistuu (ehkä?) korjattujen 100 m:n osuuksien osuus !)

**Miten tulkitaan ja reagoidaan?**

Tilaaja pyrkii paketin Ia arvonvähennyksillä ohjaamaan urakoitsijaa poistamaan jo 6...16 mm uria, koska pienikin ura lisää vesiliirron mahdollisuutta. Toisaalta arvonvähennys on tarkoituksella niin lievä, että urakoitsijan ei kannata lähteä korjaamaan ainakaan yksittäisiä 6 mm rajan ylittäviä 100 metriä. Tilaajakaan ei tässä edellytä olennaisesti perinteistä laatutasoa parempaa, mutta urakoitsijan kannattaa tehdä parempaa, jos innovaatioiden avulla pystyy.

Tavoitteena on kuitenkin, että 6...16 mm urasyvyyksille asetettu arvonvähennys tekee urakoitsijalle kannattavaksi päällystää kerralla pidempi osuus viidentenä vuonna, eikä vain muutamaa 100...300 m osuutta, jotka viimeistään kuudentena vuonna ylittäisivät 16 mm rajan.

Kuvan 11 mukaan jotakin on tehtävä ennen kuudetta vuotta, jolloin 16 mm uraraja ylittyy 12 %:lla tieosuuden pituudesta.

REM pelkästään 12 %:lle koko 2x18 km tieosuudelle eli yhteensä 4,3:lle kaista-km:lle maksaisi 5000 euroa (1160 €/100 m).

Jos REM tehtäisiin kerralla 18 km:lle eli puolelle tieosuudesta, toimenpide maksaisi 15 000 euroa (800 €/100 m). Kustannukseksi on syytä laskea vain puolet (edustaa puolta päällysteen elinkaaresta) eli 7500 euroa, koska REM olisi pitänyt tehdä 16 mm urarajan vuoksi muutenkin jo seitsemäntenä vuonna. Tätä kustannusta verrataan 13,7 km:llä (18-4,3km) säästettäviin arvonvähennyksiin, jotka ovat 13,7km x 15€/100m kahtena vuonna eli 4000 €. Nähdään, että esitetty arvonvähennys ei vielä riittänyt motivoimaan urakoitsijaa aikaistamaan uudelleenpäällystystä.

URAREM kahteen uraan tehtynä maksaa noin 800 €/100 m kaistaa kohti, joten viidentenä vuonna urakoitsijan kannattaa korjata 4,3 km osuus URAREMillä. Näyttää siltä, että URAREM tulee urakassa suosituimmaksi toimenpiteeksi. Tätä "ongelmaa" on pienennetty paketissa Ib.

Oikeampi kuva eri menetelmien kannattavuudesta ja urakoitsijan toiminnasta saataisiin tarkastelemalla koko kuntovastuuajan sisällä erilaisia toimenpiteitä. Paketissa II on paljon helpompi ennakoida urakoitsijan toimintaa.



Urakkahinta tulee tässä menettelyssä epänormaalin korkeaksi, koska urakoitsijan täytyy sisällyttää hintaansa suuren arvonvähennyksen, joka alkaa kasvaa kolmantena vuonna. Tätä ongelmaa on pienennetty paketissa 1c.

### **PAKETTI 1b**

Kuten paketti 1a, mutta lisäksi rajoitetaan urapaikkausten suurimmaksi sallituksi määräksi 30 % koko urakan kaistapituudesta.

#### **Miten tulkitaan ja reagoidaan?**

Urapaikkausten määrän rajoittamisella suljetaan urakoitsijalta mahdollisuus ylläpitää urasyvyydet urakalle asetetuissa rajoissa ainoastaan urapaikkauksin.

### **PAKETTI 1c**

Kuten paketti 1a, mutta käytetään edellistä ohjaavampia arvonvähennysperusteita seuraavin poikkeuksin:

- yksittäisen 100 m:n osuuden sallitun urasyvyyden (16 mm) ylityksestä määrätään kiinteähintainen arvonvähennys, **500 €/kpl**.
- määrätään 6 mm:n urarajan ylittävien 100 m:n osuuksien osalta arvonvähennysperuste urasyvyydestä riippuvaiseksi (**5 €/mm/100m/vuosi**)
- arvonvähennyksen laukeamisen kynnyksäraja vuosittain laskettavalle arvonvähennykselle, **3000€/v**.

#### **Arvonvähennysten muodostuminen**

Urasyvyyden kuvaajan (kuva 11) mukaisesti paketti 1b:n arvonvähennykset ilman korjaavia toimenpiteitä ensimmäisten vuosien aikana olisivat suunnilleen:

	arv.väh >6mm	arv.väh >16mm	arv.väh yht
1. vuosi	- €	-	-
2. vuosi	8 €	-	-
3. vuosi	600 €	-	-
4. vuosi	2000 €	-	-
5. vuosi	3700 €	1000 €	4700 €
6. vuosi	5500 €	10500 €	16000 €

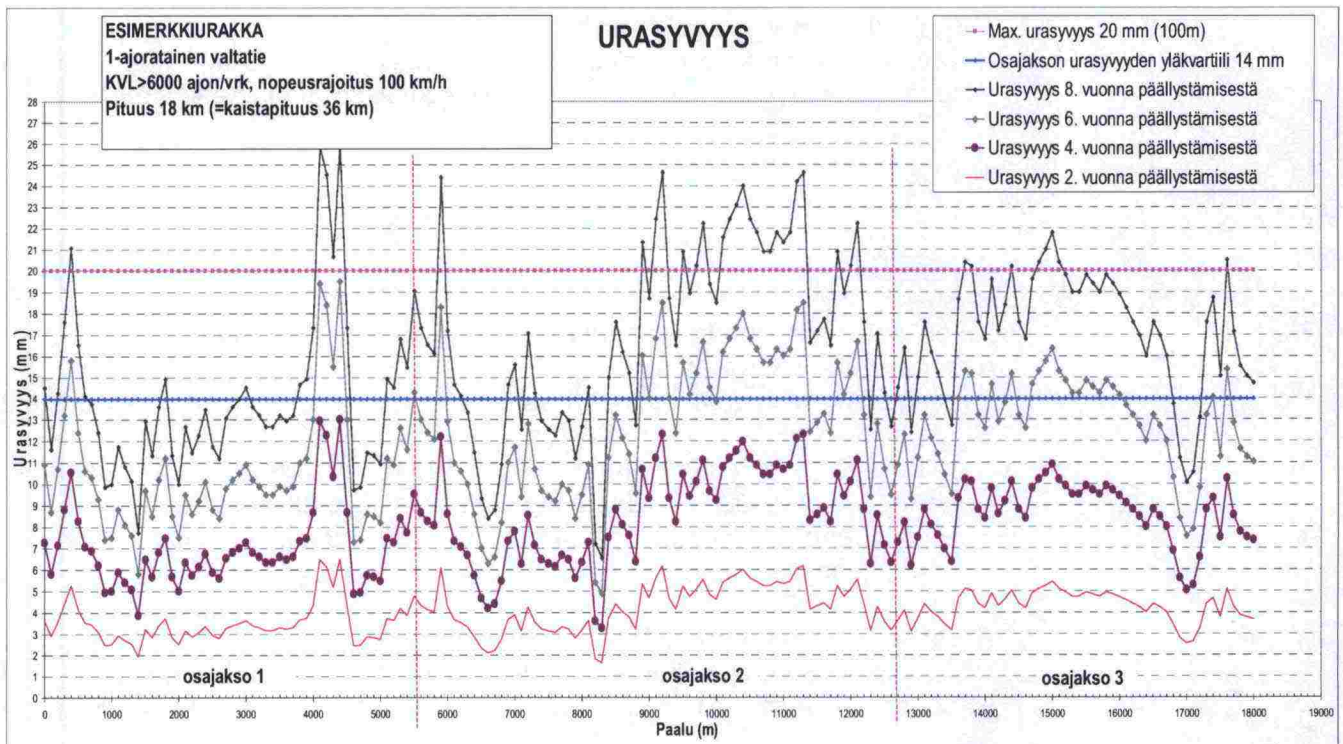
#### **Miten tulkitaan ja reagoidaan ?**

Tulkinnot ja toimenpiteet ovat kutakuinkin samat kuin paketissa 1a, mutta jyrkempien arvonvähennysperusteiden takia laajempien korjaus- tai uudelleenpäälystämistoimenpiteiden ajankohdan ja laajuuden määrittely on urakoitsijalle edellistä suurempi taloudellinen ja siten todennäköisesti myös tärkeämpi tekijä ?

## PAKETTI IIa

Tilaaaja jakaa urakkaan kuuluvan tien suunnilleen yhtä pitkiin osajaksoihin (1-3 jaksoa), esim. KVL:n, päällysteen iän, tms. teknisten tai loogisten tekijöiden mukaisesti. Urakassa ei käytetä arvonvähennyksiä.

Tässä esimerkissä urakka (18 km) on jaettu kolmeen osajaksoon kuvan 12 mukaisesti. Osajaksot ovat: 1.osajakso plv 0-4500, 2.osajakso plv 4500-12300 ja 3.osajakso plv 12300-18000.



Kuva 12. Paketin II urarajat, osajaksoihin jako ja urasyvyyden kasvu esimerkkiurakassa.

Urakriteerit paketissa II ovat:

- yksittäisen osajakson urasyvyyksien yläkvartiili ei saa ylittää tälle asetettua raja-arvoa **14 mm**.
- yksittäisen 100 m:n osuuden urasyvyys ei saa ylittää tälle asetettua raja-arvoa **20 mm**.
- osajaksolla sallitaan olevan **urapaikkauksia enintään 10 %** osajakson kaistapituudesta. Uudelleenpäällystämistarpeen lauetessa osajakso tulee päällystää yhdellä kertaa koko pituudeltaan.



### **PAKETTI IIa**

#### **Miten tulkitaan ja reagoidaan?**

Urakriteerien ja osajaksoihin jaon perusteella urasyvyyden yläkvartiilille asetettu raja-arvo 14 mm ylittyä ensimmäisellä osajaksolla viimeistään 8. vuonna ja toisella sekä kolmannella osajaksolla viimeistään 6. vuonna päällystämistä. Yksittäisen 100 m:n jakson uraraja 20 mm alkaa ylittyä ensimmäisellä ja toisella osajaksolla 7. vuonna ja kolmannella osajaksolla 8. vuonna päällystämistä.

Urapaikkauksia sallitaan 10 % kullakin osajaksolla. Ensimmäisellä osajaksolla sallittu urapaikkausmäärä on siten 1,1 kaistakm, toisella osajaksolla 1,6 kaistakm ja kolmannella osajaksolla 1,0 kaistakm. Tämän perusteella urapaikkauksilla voidaan tarvittaessa lykätä uudelleenpäällystämistarvetta ensimmäisellä osajaksolla jopa 10. vuoteen ja kolmannella jaksolla 9. vuoteen edellisestä päällystämistä lukien. Toisella osajaksolla sallitulla urapaikkausmäärällä ei pystytäisi lykkäämään uudelleenpäällystämistarvetta kuin enintään 7. vuodelle edellisestä päällystämisaikakohdasta lukien.

---

### **PAKETTI IIb**

Kuten paketti IIa, mutta määritellään sallittu urapaikkauksen määrä, **10 % koko urakan pituudesta.**

#### **Miten tulkitaan ja reagoidaan?**

Menettely mahdollistaa urapaikkausten kohdistamisen esim. nopeimmin urautuviin kohtiin osajaksojaoista huolimatta. Tällöin urakoitsija saattaa katsoa olevan itselleen edullisinta esim. siirtää "keskitetyllä urapaikkauksella" toisen osajakson uudelleenpäällystämistä siten, että uudelleenpäällystämisen on mahdollista tehdä raja-arvojen puitteissa samaan aikaan (vaikka 8. vuonna edellisestä päällystämistä) yhdessä kolmannen osajakson kanssa. Tämän jälkeen koko 10 %:n urapaikkausoptio on käytettävissä ensimmäisen jakson ylläpitämiseen.

---

### **PAKETTI IIc**

Kuten paketti IIa, mutta ilman urakriteeriä (c) eli **urapaikkausten määrää ei ole rajoitettu urakassa millään tavalla.**

#### **Miten tulkitaan ja reagoidaan?**

(vrt. paketti Ia). Tulkinat ja menettelyt ovat todennäköisesti hyvin paljon pake-  
tin Ia mukaiset.

Vaarana tai mahdollisuutena on koko urakanaikainen hoito ainoastaan urapaikkauksin, mikäli urapaikkaus on mahdollista tehdä joko "edullisesti" tai laadukkaana ja kestäväenä hyvien innovaatioiden kautta.

---

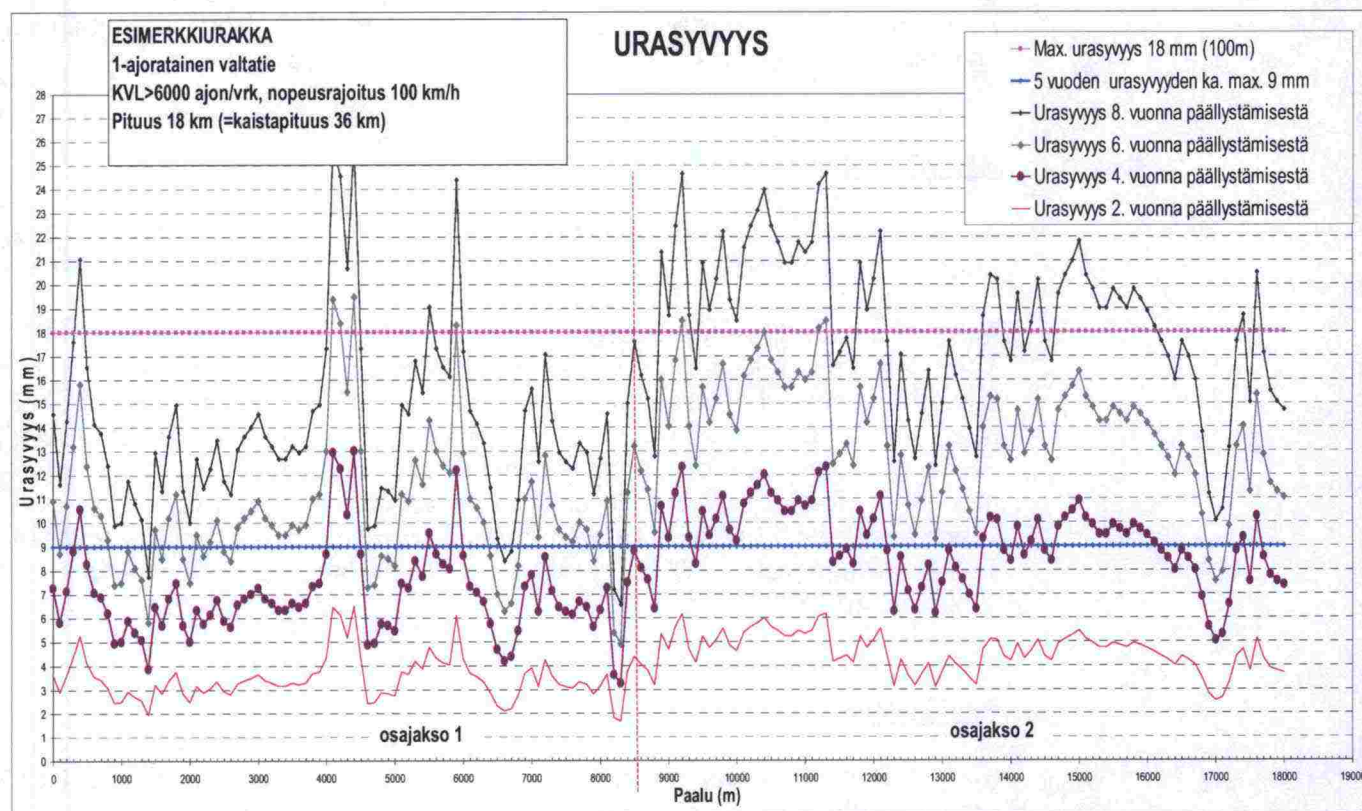
### PAKETTI III

Kuten paketti II, mutta muutamien seuraavin poikkeuksin.

Paketissa III urakoitsijalle annetaan enemmän vapauksia, kuten jakaa itse urakka osajaksoihin ja tarvittaessa muuttaa jaksotusta urakan kuluessa tilaajan suostumuksella sovitun mukaisesti.

Tässä esimerkissä urakoitsija on jakanut urakan (18 km) kahteen osajaksoon kuvan 13 mukaisesti. Osajaksot ovat: 1.osajakso plv 0-8400 ja 2.osajakso plv 8400-18000.

Urakoitsijalla on lupa muuttaa jaksotusta yhden kerran urakan aikana. Mahdollinen jaksotuksen muutos tulee toteuttaa nykyisten jaksojen/jakson uudelleenpäälystämisen yhteydessä.



Kuva 13. Paketin III urarajat, osajaksoihin jako ja urasyvyyden kasvu esimerkkiurakassa.

Urakriteerit paketissa III ovat:

- yksittäisen 100 m:n osuuden urasyvyys ei saa ylittää tälle asetettua raja-arvoa **18 mm**.
- osajaksolla sallitaan olevan **urapaikkauksia enintään 10 %** osajakson kaistapituudesta. Uudelleenpäälystämistarpeen lauetessa osajakso tulee päälystää yhdellä kertaa koko pituudeltaan.
- 5 vuoden uramittausten urasyvyyden keskiarvo kullakin osajaksolla tulee olla pienempi kuin sille asetettu raja-arvo **9 mm** (= 50 % kohdan f. raja-arvosta).



### **PAKETTI III**

#### **Miten tulkitaan ja reagoidaan?**

Urakriteerien ja osajaksoihin jaon perusteella yksittäisen 100 m:n jakson uraraja 18 mm ylittyy kummallakin osajaksolla viimeistään 6. vuonna päällystämistä.

5 vuoden urasyvyyden keskiarvon uraraja 9 mm ylittyy ensimmäisellä osajaksolla 8. vuonna ja toisella jaksolla 6. vuonna päällystyksestä. Tämän vaatimuksen tarkoituksena on varmistaa, että tie on ainakin joinakin vuosina pieniurainen, eli ettei uria korjata vuosittain esim. "innovatiivisella" liete-pintauksella siten, että ura juuri ja juuri pienenee alle sallitun ylärajan.

Urapaikkauksia sallitaan 10 % kullakin osajaksolla. Ensimmäisellä osajaksolla sallittu urapaikkausmäärä on siten 1,9 kaistakm ja toisella osajaksolla 1,7 kaistakm. Tämän perusteella urapaikkauksilla voidaan tarvittaessa lykätä uudelleenpäällystämistarvetta ensimmäisellä osajaksolla jopa 10. vuoteen ja toisella osajaksolla jopa 8. vuoteen ilman, että yksittäisen 100 m:n osuuden sallittu uraraja 18 mm ylittyy.

Kummallakin jaksolla 5 vuoden urasyvyyden keskiarvon raja-arvo 9 mm todennäköisesti laukaisee uudelleenpäällystämistarpeen ennen edellä mainittuja ajankohtia. Ensimmäisellä osajaksolla, jossa on muutama keskimääräistä enemmän kuluva lyhyttä jaksoa (n. pl 400, pl 4300 ja pl 5900 ympäristöissä) voitaneen 5 vuoden urasyvyyden keskiarvon kasvu pitää hyvinkin maltillisena näihin kohtiin tehtävillä riittävän aikaisilla ja jopa ennen uudelleenpäällystämistä toistamiseen tehtävillä urapaikkauksilla?

---

## **URAKRITEERIEN TÄYDENTÄVÄT LAATUVAATIMUKSET JA TARKENNUKSET**

Urakriteerien ja niille asetettujen raja- tai tavoitearvojen valinta tulee AINA määritellä urakkakohtaisesti kulloisetkin olosuhteet, tarpeet ja rajaukset huomioon ottaen. Urakriteerien määrittelyssä tulee ottaa lisäksi huomioon myös se, että sovelletaanko niitä mahdollisesti uusilla rakennettavilla teillä vaiko jo olemassa olevalla tiestöllä.

Seuraavassa on lueteltu ja selitetty tekijöitä, joita voidaan käyttää tarvittaessa täydentämään, rajaamaan ja selittämään kuntovastuu-urakalle määriteltäviä urakriteereitä.

### **Urapaikkausten rajoittaminen**

Urapaikkauksen rajoittamisen sijaan olisi parempi rajoittaa urapaikkauksen haittoja, ei itse menetelmää.

Urapaikkauksen haittoja ovat mm.:

1. Auton kuljettaja kokee sateella, että urasyvyys pienenee yllättäen urapaikkauksen alussa ja kasvaa yllättäen urapaikkauksen lopussa, varsinkin jos toisen uran paikkaus alkaa eri kohdasta kuin toisen. Urapaikkauksen lopun yllätys voi lisätä onnettomuusvaaraa. *Haittoja ehkäisevä vaatimus voisi olla: Jyrkkiä urasyvyyden muutoskohtia salitaan enintään 4 kutakin kaistakilometriä kohti.*
2. Urapaikkauksen reunaan tulee yleensä muutaman millimetrin porras, joka voi vaikeuttaa ainakin uutena ajoneuvon hallintaa. *Urapaikkauksen reunan porrastumalle tarvitaan yläraja ja leveämmästäkin porrastumasta pitäisi olla arvovähennys.*
3. Urapaikkaus näkyy ainakin alussa erivärisenä. Autossa olijalla voi kokea tien palvelutason huonommaksi kuin se tasaisuuden perusteella olisi. *Tästä tilaajan ei ehkä tarvitse välittää.*

Näitä toimivuusvaatimuksia noudattamalla urapaikkauksesta voisi tulla tasaisuudeltaan muiden toimenpiteiden veroinen uutena. Jyrsimällä tehdyn urapaikkauksen materiaalina voisi vielä käyttää erityisen hyvää kiveä ja parempaa sideainetta, koska materiaalimenekki on pieni. Tällöin hyvä kestävyys keskittyisi juuri siihen, missä sitä tarvitaan. Tällaiset edulliset mutta laadukkaat menetelmät eivät kehity, jos urapaikkausta menetelmänä rajoitetaan.

### **Tuotevaatimukset**

Tuotevaatimuksina voitaneen määritellä ja tarkentaa myös urapaikkaus- ja uudelleenpäällystämiseen liittyvien liitännäistöiden, esim. ajoratamaalausten, laatuvaatimuksia. Mikäli urakka päällystetään esim. osajaksoina, niin sallitaanko ajoratamaalaukset tehdä myös jaksotettuina vai tulisiko niiden laatus- tason olla yhtenevä koko urakan matkalla?

Tehdyissä tarkasteluissa käytetyn lanka-ura-arvojen sijaan saattaisi joiltakin osin olla perusteltua käyttää urakriteerinä täysin toisenlaista uraparametria, esim. vesiuraa, vaarallista urasyvyyttä tai uraprofiilia?



### **Vaikutukset**

Täydentävinä kuntovastuu-urakan tai urakriteerin laatuvaatimuksina on mahdollista käyttää myös erilaisia vaikutuksia kuten urautuneisuuden vaikutus liikennevirran sujuvuuteen tai nopeuteen, urapaikkaustöiden häiriöt liikenteen seisokkeina tai matka-ajan viivästyksinä tai urautumisen vaikutus liikenneturvallisuuteen (esim. suistumisonnettomuudet). Vaikutusten mittaaminen sekä niiden kohdentaminen ja todentaminen ovat kuitenkin melko hankalia, joten nämä lienevät ajankohtaisia vasta tulevaisuudessa?

### **Taloudelliset ja kaupalliset tekijät**

Näistä tekijöistä arvonnähennyksiä oli mukana jo urakriteeripaketin I esimerkeissä.

Arvonnähennysten lisäksi kriteereinä voidaan käyttää myös sanktioita tai palkkioita joko ehdottomina tai vaihtoehtoisesti yhdessä tekniseen laatuun, aikatauluun yms. asiaan sidottujen kynnyk- tai laukeamisrajojen kanssa.

### 3 SIVUKALTEVUUS

#### 3.1 Yleistä

Tässä luvussa on käsitelty palvelutasomittauksilla (PTM) tuotettuja pintaviivasisivukaltevuuden ja kaarteisuuden parametreja sekä mittausaineiston laserantureiden poikkileikkauskohtaisia mittausarvoja. Aineistoina on käytetty kesällä 2003 kahteen suuntaan mitattua osa-aineistoa (~300 km) sekä koko vuoden 2003 PTM -mittausten yhteen suuntaan tuotettua tuotantodataa (~25 500 km eli noin 50 % päällystetystä tieverkosta).

Työn tavoitteena on ollut selvittää miten PTM- datan sivukaltevuusparametreja voitaisiin edelleen hyödyntää ja soveltaa tiestön tilan kuvaamisessa sekä päällystysurakoiden lähtötietoaineistona ja laatuvaatimusten määrittämisessä.

Työhön on kuulunut osana sivukaltevuuden tavoitealgoritmin kehittäminen sivukaltevuuspuutteiden määrien selvittämiseksi tarkasteltavalla tiestöllä sekä sivukaltevuuspuutteiden laajuuden määrittäminen vuoden 2003 PTM-aineiston perusteella. Sivukaltevuuspuutteiden laajuuden määrittämisen lisäksi on testattu eri tulostusväleillä tuotettujen mittausaineistojen tarkkuutta ja soveltuvuutta sivukaltevuuspuutetarkasteluissa käytettäväksi. Sivukaltevuuden tavoitealgoritmin määrittelyssä on sovellettu nykyisiä tien geometrian suunnitteluohjeita sekä valmisteilla olevia geometrisen suunnittelun ohjeita (Tiehallinto, suuntauksen suunnittelu, Luonnos 2.6.2003).

#### 3.2 Virheet ja poikkeavuudet tutkimusaineistoissa

Lähtötietojen käsittelyn yhteydessä kuntorekisteriaineistossa havaittiin olevan jonkin verran tieosoitevirheitä, jotka jouduttiin korjaamaan manuaalisesti ennen analyysiä.

Kuntorekisteritietojen kaarteisuuden arvojen osalta havaittiin 10-metrin ja 50-metrin aineistojen välillä suuruusluokkavirhe. Virheen mahdolliseen olemassaoloon oli kiinnitetty huomiota projektiryhmän osalta myös aiemmin muissa yhteyksissä. Virheen olemassaolo saatiin konkreettisesti varmistettua tutkimuksessa käytettyjä, mutta samasta raakadatasta jalostettuja mittausaineistoja vertailemalla. Virheen syyksi selvisi kuntorekisteriaineiston mittausdatan sisäänlukuvaiheessa tapahtuva desimaali- ja pyöristysvirhe. Näin kuntorekisterin kaarteisuuden lukuarvot tulostuivat 10 kertaa liian pieninä ja kaarresäteiden lukuarvot 10 kertaa liian suurina niiden todellisiin arvoihin nähden. Virhe korjattiin kertomalla kuntorekisterin kaarteisuuden lukuarvot 10:llä, jolloin arvot saatiin oikean suuruiseksi.

Kaarteisuustieto kirjataan kuntorekisteriin kaarresäteen käänteisarvona kaavalla  $10\,000/R$ , eli jos  $R=10\,000$  niin kaarteisuus=1, jos  $R=7\,500$  niin kaarteisuus=1,5, jos  $R=500$  niin kaarteisuus=200, jne. Koska desimaalit pyöristetään sisäänlukuvaiheessa kokonaisluvuiksi menetetään samalla kaarteisuuden desimaalitarkkuus. Tämän takia 100 ja 50 metrin kuntorekisterin aineiston osalta kaarresäteiden arvot voivat tulostua vain karkealla jaolla:  $R=10\,000$ ,  $R=5\,000$ ,  $R=3\,333$ ,  $R=2\,500$ ,  $R=2\,000$ ,  $R=1\,666$ , jne.

Edellisten lisäksi mittausaineistoissa havaittiin epäloogisuus kaarteiden suunnissa verrattuna tierekisterin kaarteisuustietoihin. PTM- mittaustietojen kaarresäteen/kaarteisuuden etumerkki on ruotsalaisen käytännön mukainen eli oikealle kääntyvät kaarteet ovat etumerkiltään negatiivisia. Tämä on otettu huomioon mittausaineistojen analyyseissä sekä muihin tietoaaineistoihin tehdyissä vertailuissa. Raportin tulokset ovat esitetty suomalaisen käytännön mukaisesti eli ajosuunnassa oikealle kääntyvät kaarteet ovat positiivisia ja vasemmalle kääntyvät negatiivisia.

### 3.3 Lähtöaineisto

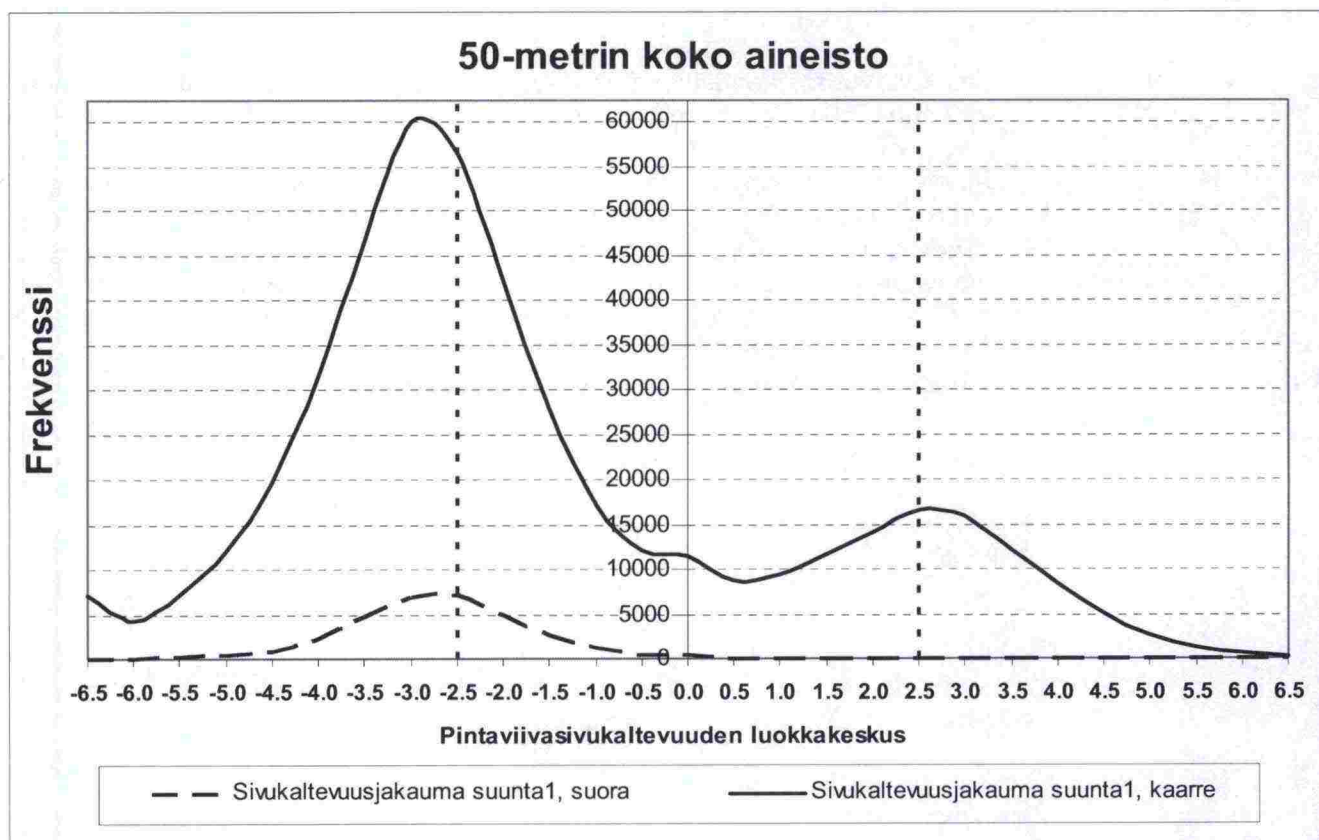
Sivukaltevuustarkasteluissa on käytetty sekä yhteen että kahteen suuntaan mitattua mittausaineistoa ja kahta eri tulostusvälin mittausaineistoa.

Aineiston sivukaltevuusarvot ovat PTM -parametrien kuvauksen mukaisia pintaviivasivukaltevuusarvoja. Käytettyjen mittausaineistojen laajuudet, sivukaltevuusjakaumat sekä suorien ( $|R| > 10\ 000$ ) ja kaarien suhteellinen osuus aineistoissa on esitetty osa-aineistoittain liitteen 1 taulukoissa ja kuvissa 14 - 16. Taulukoissa on lisäksi esitetty sivukaltevuudeltaan välillä -2,25...2,25 % olevan mittausaineiston laajuus, minkä avulla voidaan arvioida alustavasti mahdollisten "latteiden" tai sivukaltevuuspuutteisten teiden kokonaismäärä.



### 50-metrin koko aineisto

50 –metrin koko aineistona on käytetty yhteen suuntaan mitattua ja 50 m:n tulostusmuotoon muutettua ”pitkää” mittausaineistoa. Aineistoa oli noin 25 000 km, joka jakautui toiminnallisen luokan mukaan siten, että valtateitä oli 7 900 km, kantateitä 3 720 km, seututeitä 6 025 km ja yhdysteitä reilut 8 000 km. Mittausaineiston laajuus ja jakaumat sivukaltevuuden suhteen on esitetty kuvassa 14.



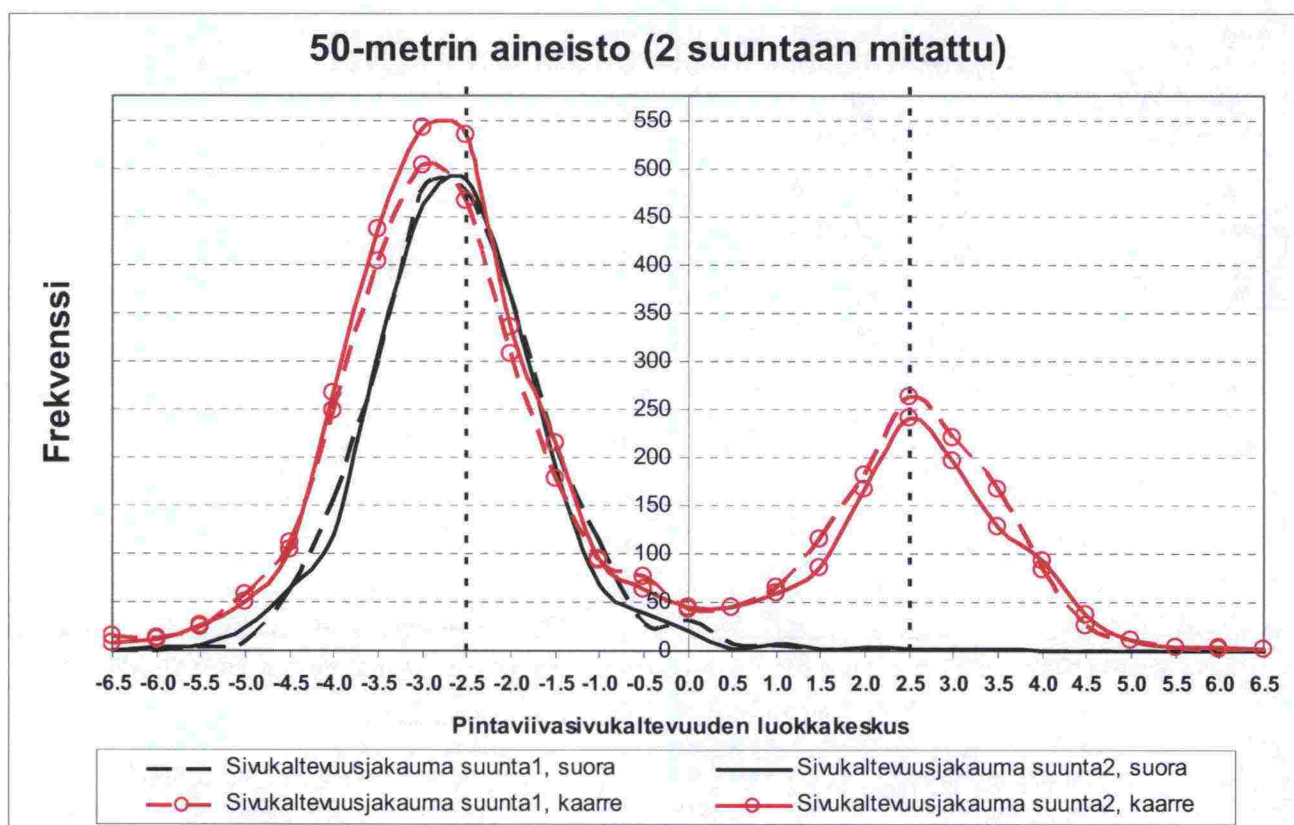
Kuva 14. Yhteen suuntaan mitatun 50 metrin koko aineiston laajuus sekä suorien ( $|R| > 10000$ ) ja kaarien osuus aineistosta.



### 50-metrin kahteen suuntaan mitattu osa-aineisto

50-metrin kahteen suuntaan mitatun osa-aineiston mittaustieto on mitattu ja tulostettu koko 50 metrin aineistosta poiketen erikseen ajoradan kummaltakin kaistalta. Mittausaineiston laajuus ja jakaumat sivukaltevuuden suhteen on esitetty kuvassa 15.

Kahteen suuntaan mitattua aineistoa oli noin 318 km, joka jakautui toiminnallisen luokan mukaan siten, että valtateitä oli 154 km, kantateitä 82 km, seututeitä 48 km ja yhdysteitä reilut 35 km. Kahteen suuntaan mitattu osa-aineisto painottui ylemmälle tieverkolle valta- ja kantateiden osuuden ollessa 74 % aineistosta.

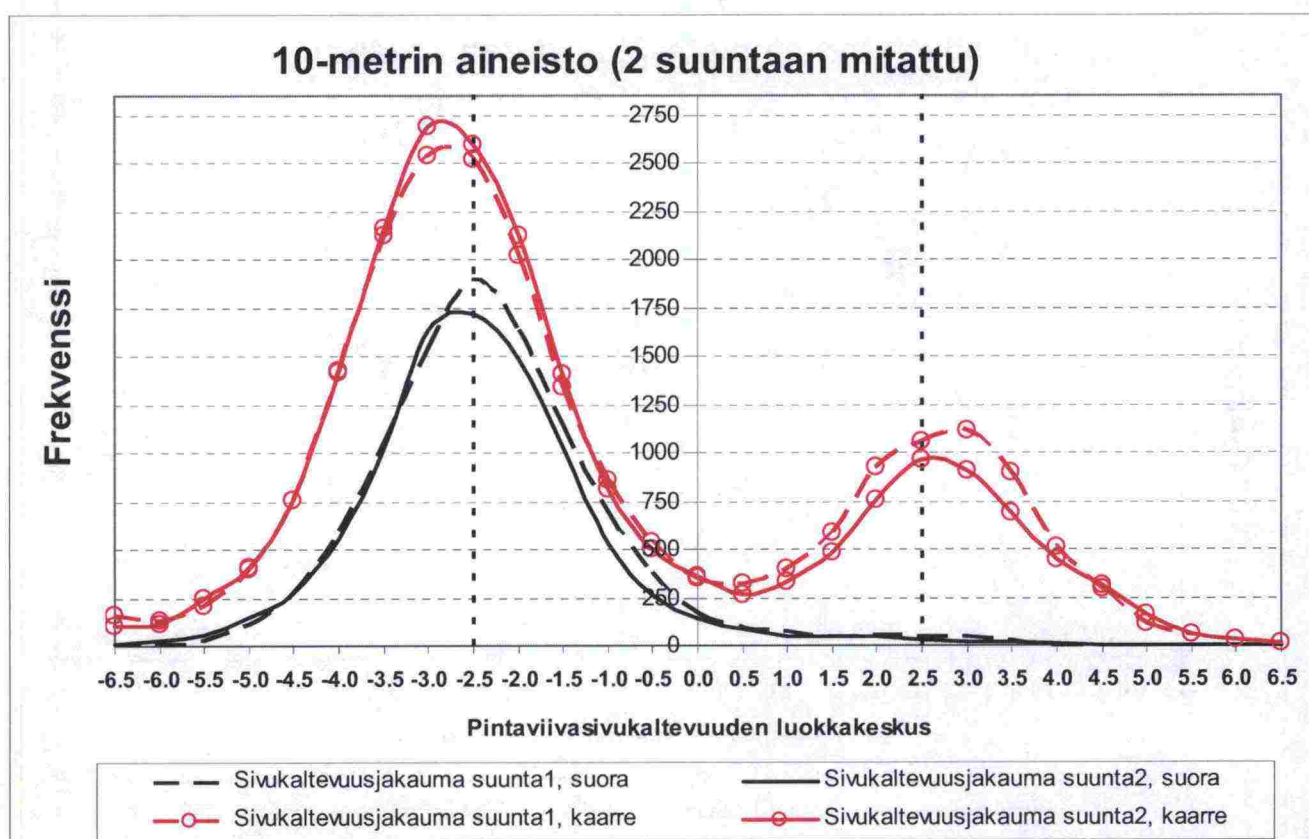


Kuva 15. Kahteen suuntaan mitatun 50 metrin osa-aineiston laajuus sekä suorien ( $|R| > 10000$ ) ja kaarien osuus aineistosta.

### 10-metrin kahteen suuntaan mitattu osa-aineisto

10-metrin kahteen suuntaan mitattu osa-aineisto oli sama kuin 50 metrin osa-aineisto, mutta tulostusväli oli 10 m. Mittausaineiston laajuus ja jakaumat sivukaltevuuden suhteen on esitetty kuvassa 16.

Kuntorekisteriaineiston parametrien lisäksi 10-metrin aineistoon valittiin mukaan mittauspalkin laserkohtaiset (17 kpl) mittausarvot sekä GPS-koordinaatit. Aineistoa oli noin 318 km, joka jakautui samalla tavalla kuin 50-metrin osa-aineistokin. 10 metrin aineisto oli kokonaisuudessaan AB- päällysteistä koostuva. Nopeusrajoitusluokka aineistossa oli pääasiassa 80 tai 100 km/h ja KVL välillä 350 – 6 000 ajon/vrk.



Kuva 16. Kahteen suuntaan mitatun 10 metrin osa-aineiston laajuus sekä suorien ( $R > 10000$ ) ja kaarien osuus aineistosta.

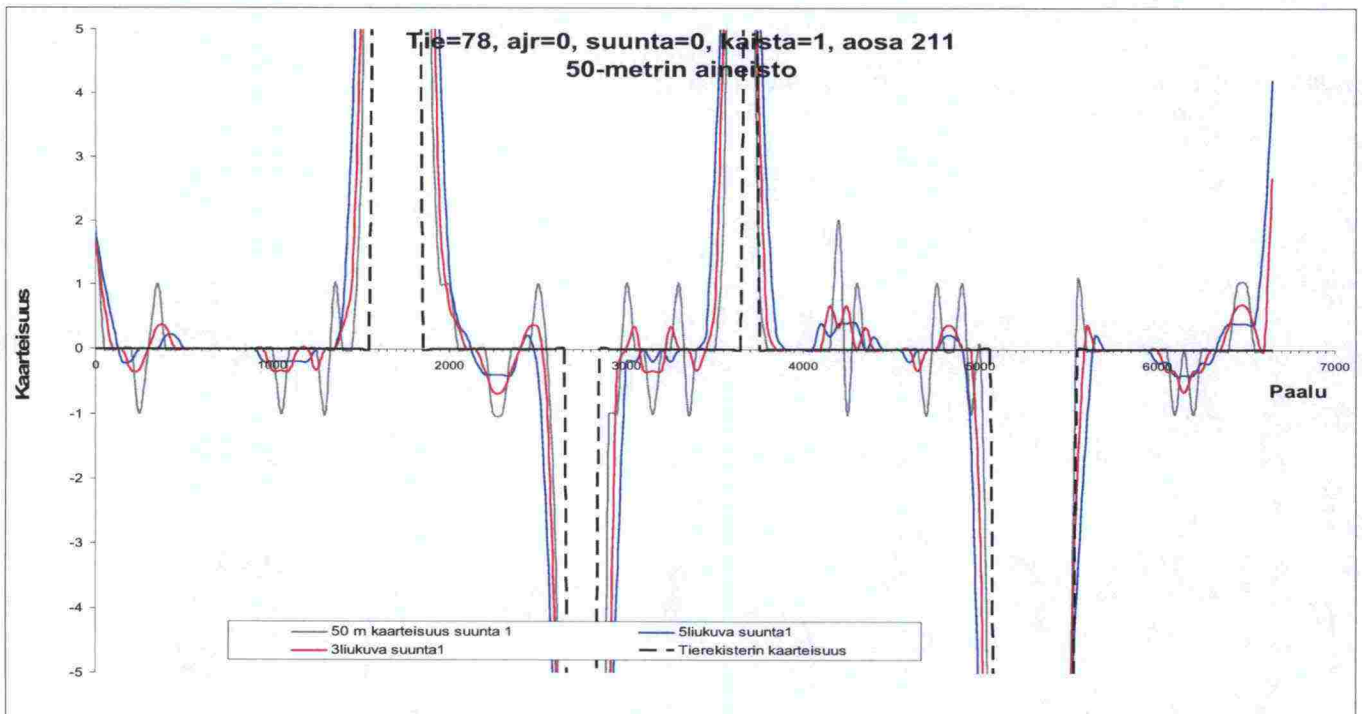


### 3.4 Vaakageometrian loogisuus

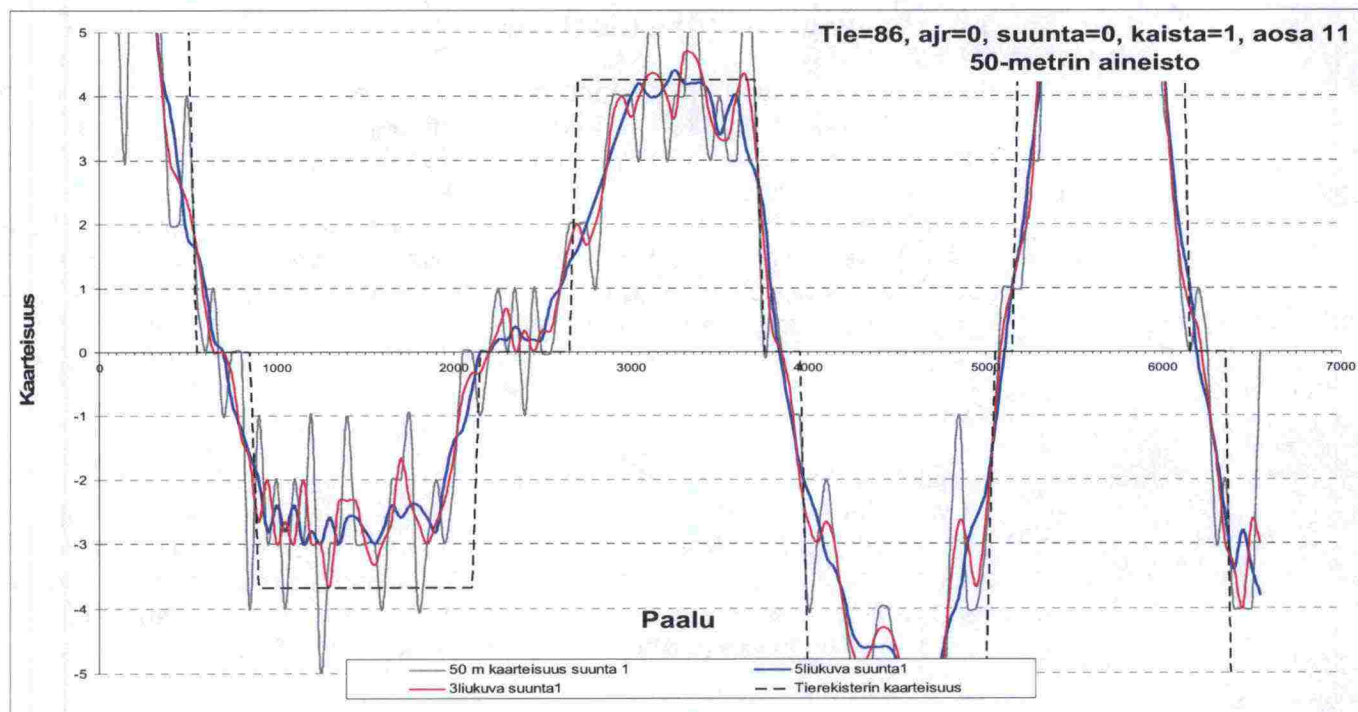
Kaarteisuus- ja kaarresädetiedon epätarkkuuksien ja suurpiirteisyyden takia aineistolle jouduttiin tekemään vaakageometrian loogisuustarkasteluja. Tarkastelujen tavoitteena oli selvittää miltä osin mittausaineistoa voitaisi käyttää hyödyksi sellaisenaan ja miltä osin sitä jouduttaisi joko muokkaamaan tai korjaamaan ennen ura- ja sivukaltevuustarkasteluja. Loogisuustarkasteluja tehtiin laskennallisesti aineistoja vertailemalla sekä silmämääräisesti kaarteisuustiedoista piirrettyjä kuvaajia vertailemalla. Tarkasteluissa arvioitiin sekä kaarteisuuden että kaarresäteen hyvyttä.

#### Kohina

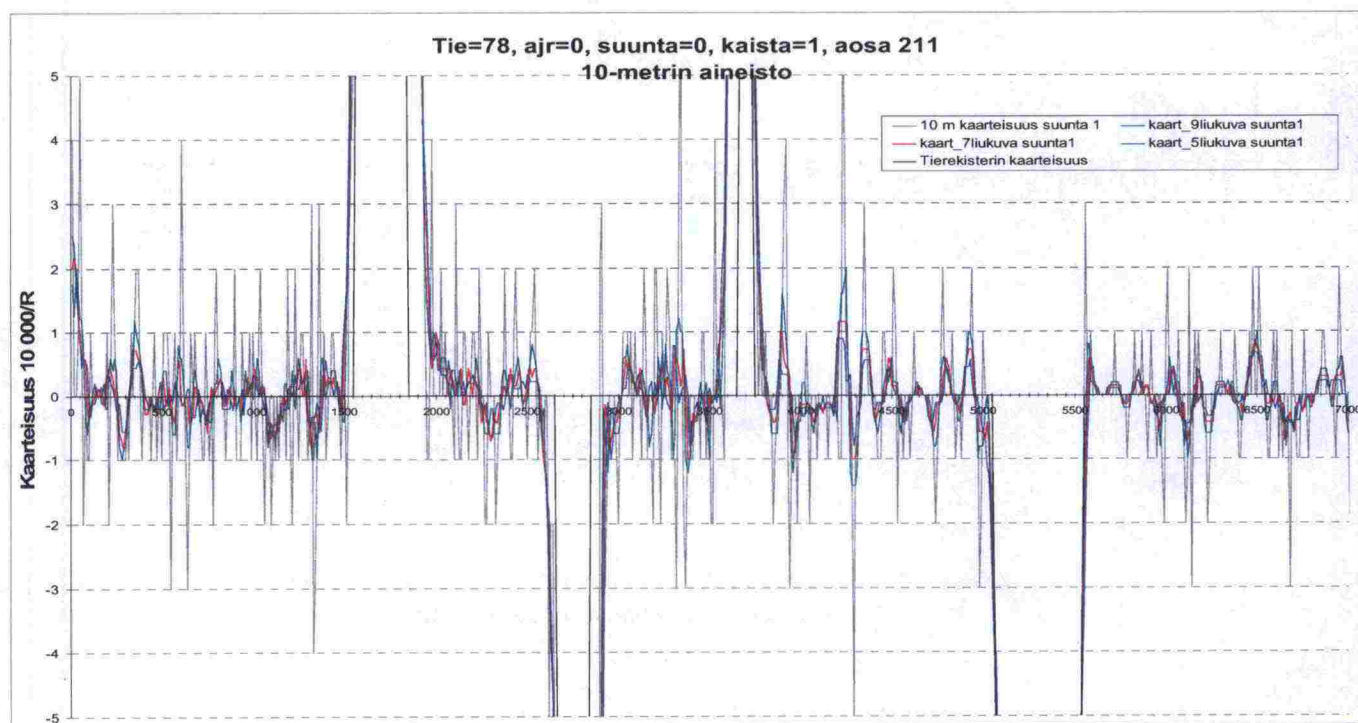
Ongelmana kaarteisuustiedon osalta oli "kohina" eli kaarteisuusarvojen suuret vaihtelut. Kohinan suuruus oli sitä suurempi mitä tiheämpi mittaustiedon tulostusväli oli. Jotta kaarteisuus- ja kaarresädetiedon käyttö tutkimusaineistona olisi ollut mahdollista, jouduttiin kaarteisuustietoa "suodattamaan" liukuvan keskiluvun laskennoilla. Esimerkkejä kaarteisuustiedon kohinasta ja liukuvan keskiluvun vaikutuksesta kohinaan on kuvissa 17...20.



Kuva 17. Esimerkki 50 metrin aineiston kaarevuustiedon "kohinasta" ja liukuvan keskiluvun suodatuksen vaikutuksesta kohinaan.

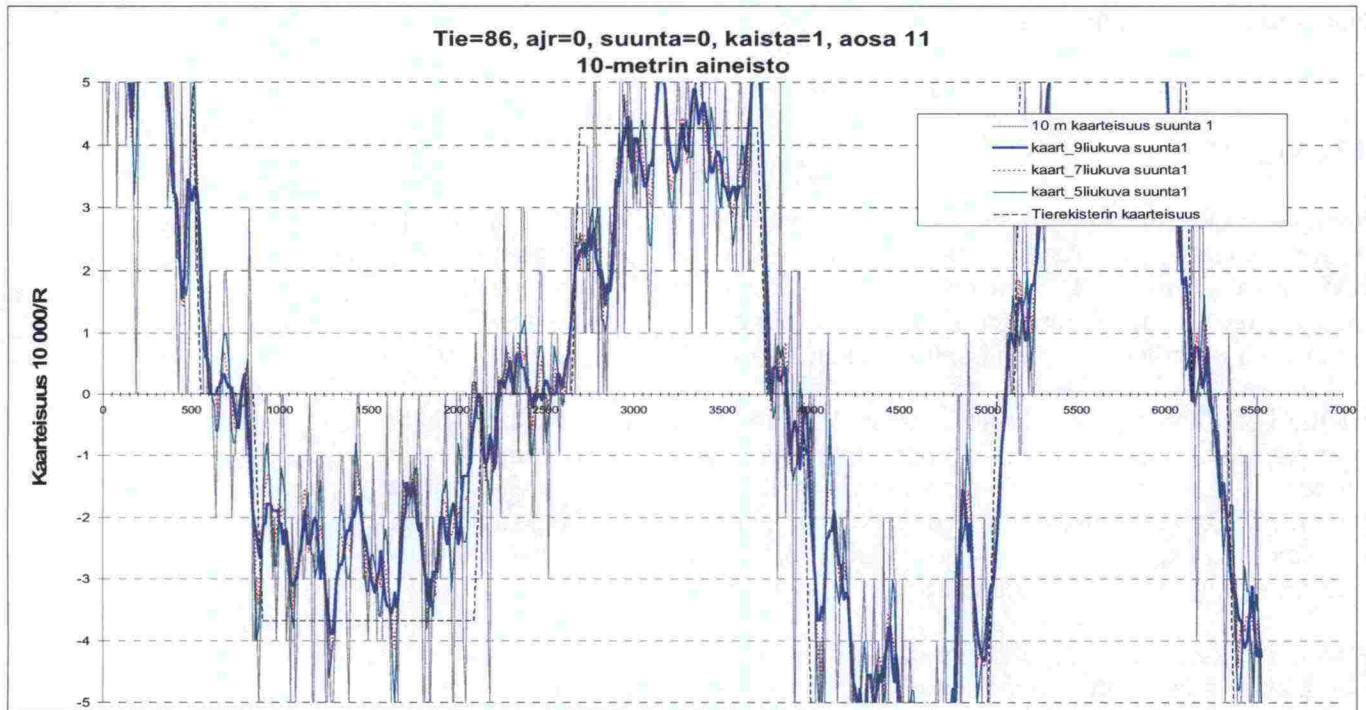


Kuva 18. Esimerkki 50 metrin aineiston kaarevuustiedon" kohinasta" ja liukuvan keskiluvun suodatuksen vaikutuksesta kohinaan.



Kuva 19. Esimerkki 10 metrin aineiston kaarevuustiedon" kohinasta" ja liukuvan keskiluvun suodatuksen vaikutuksesta kohinaan.





Kuva 20. Esimerkki 10 metrin aineiston kaarevuustiedon" kohinasta" ja liukuvan keskiluvun suodatuksen vaikutuksesta kohinaan.

Vaakageometrian kaari- ja suoraelementtien muutoskohtien sekä erityisesti yhtämittaisen suoran määrittämisessä käytettiin apuna liukuvan keskiluvun suodatuksen lisäksi kaarteisuusarvolle määritettyä "kaarielementin kynnysarvoa". Aineistoja testaamalla kynnysarvoksi määritettiin kaarteisuuden arvo 1,5, mikä vastaa kaarresäteen arvoa 6 666 m. Erityisesti 50 -metrin ja ylemmän tieverkon aineistolla kaarteisuuden kynnysarvona olisi voitu käyttää edellistä pienempääkin arvoa. Aineistojen kaarteisuustiedon karkeajakoisuuden takia ei näin olisi päästy juurikaan tarkempaan erotteluun ilman muutoskohtavirheiden määrän kasvua, joten määritettyä arvoa käytettiin sekä 10 -metrin että 50 -metrin aineistojen tarkasteluissa. Vaakageometrian elementtien ja niiden muutoskohtien määrittämisperusteita on esitetty tarkemmin luvussa 3.5.

Kaarteisuustiedon suurpiirteisyyden takia tehtiin muutamia tarkasteluja, josko kaari- ja suoraelementtien muutoskohtien sekä elementtien parametrien määrittäminen olisi mahdollista tarkemmin esim. mittausaineiston GPS- tietojen avulla. Tarkastelut tehtiin Nova Point Rehab -ohjelmistolla, minkä avulla testattiin miten hyvin GPS:n pistejonoon saataisi luotua vaakageometria elementteineen ja saataisiko vaakageometria määritettyä kaarteisuustiedon avulla määritettyä tarkemmin.

Rajatulla, esim. lyhyellä tieosa- tai hanketasolla Rehab -ohjelmistolla pystyy tuottamaan melko sujuvasti vaakageometriatiedon, myös siirtymäkaarineen. Vaakaelementtien muutoskohtien tarkempi paikallistaminen kuntorekisterin kaarteisuustietoon verrattuna vaatii kuitenkin manuaalisesti tehtävää käsittelyä, joten ohjelman hyödyntäminen on hidasta laajoja aineistoja käsiteltäessä. Kuntorekisteritietojen muuntaminen ja käsittely tulisi edelliseen viitaten saada "automatisoitua" ennen kuin useampien teiden tai rekisteriaineistojen vaakageometriatietojen laajempi hyödyntäminen olisi perusteltua.

### Kaarteisuuden loogisuus

Suora- ja kaarielementtien loogisuustarkasteluissa käytettiin eri liukuvan keskiarvon suodatuksia ja kaarteisuusarvolle määritettyä "kynnysrajaa" eli  $10\,000/R = 1,5$ .

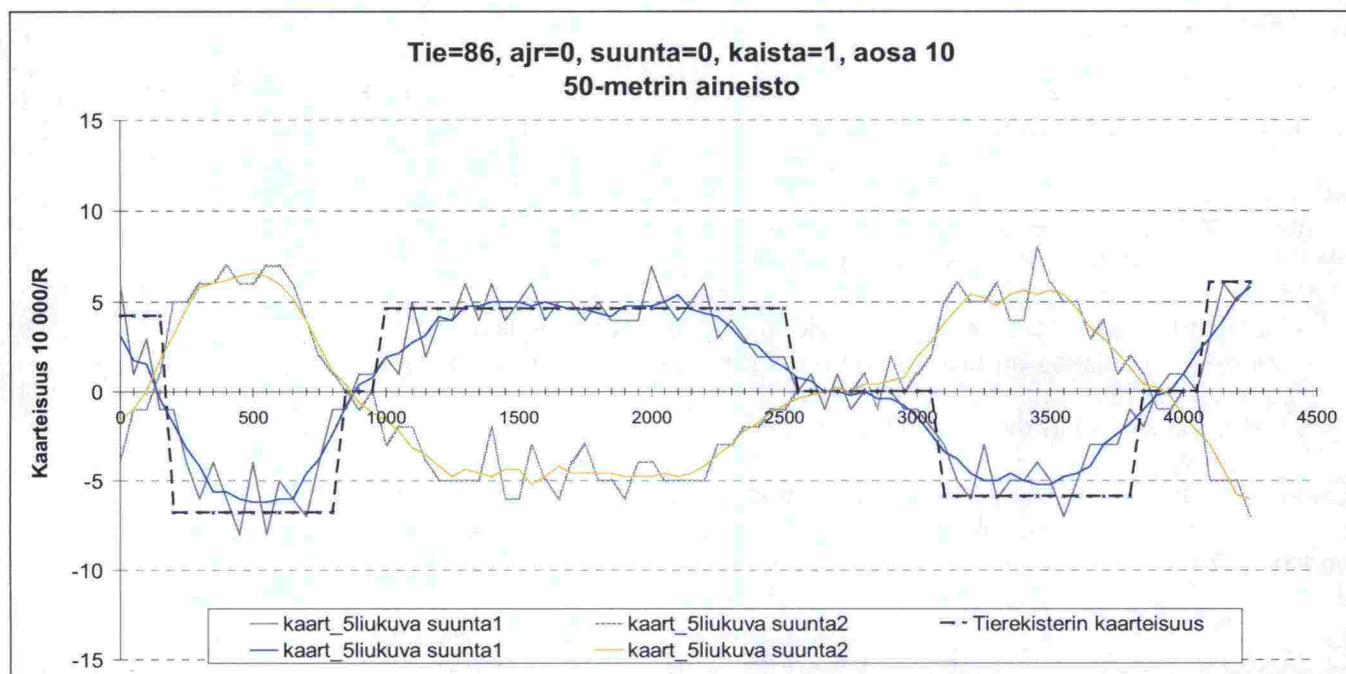
Kahteen suuntaan mitatun 50 -metrin aineiston suodattamattoman kaarteisuuden loogisuustarkastelun mukaan vaakageometrian elementtitieto eri suunnissa täsmäsi 92 %:n osalta aineistosta. Viiden liukuvan keskiarvolla suodatetun 50 metrin aineiston mukaan vaakageometrian elementtitieto eri suunnissa täsmäsi jo 95 %:n osalta aineistosta.

Vastaavasti kahteen suuntaan mitatun 10 -metrin aineiston suodattamattoman kaarteisuuden loogisuustarkastelun mukaan vaakageometrian elementtitieto eri suunnissa täsmäsi ainoastaan 72 %:n osalta aineistosta. Viiden liukuvan keskiarvolla suodatetun 10 -metrin aineiston mukaan vaakageometrian elementtitieto eri suunnissa täsmäsi 92 %:n osalta ja yhdeksän liukuvan keskiarvolla suodatettu aineisto 95 %:n osalta aineistosta.

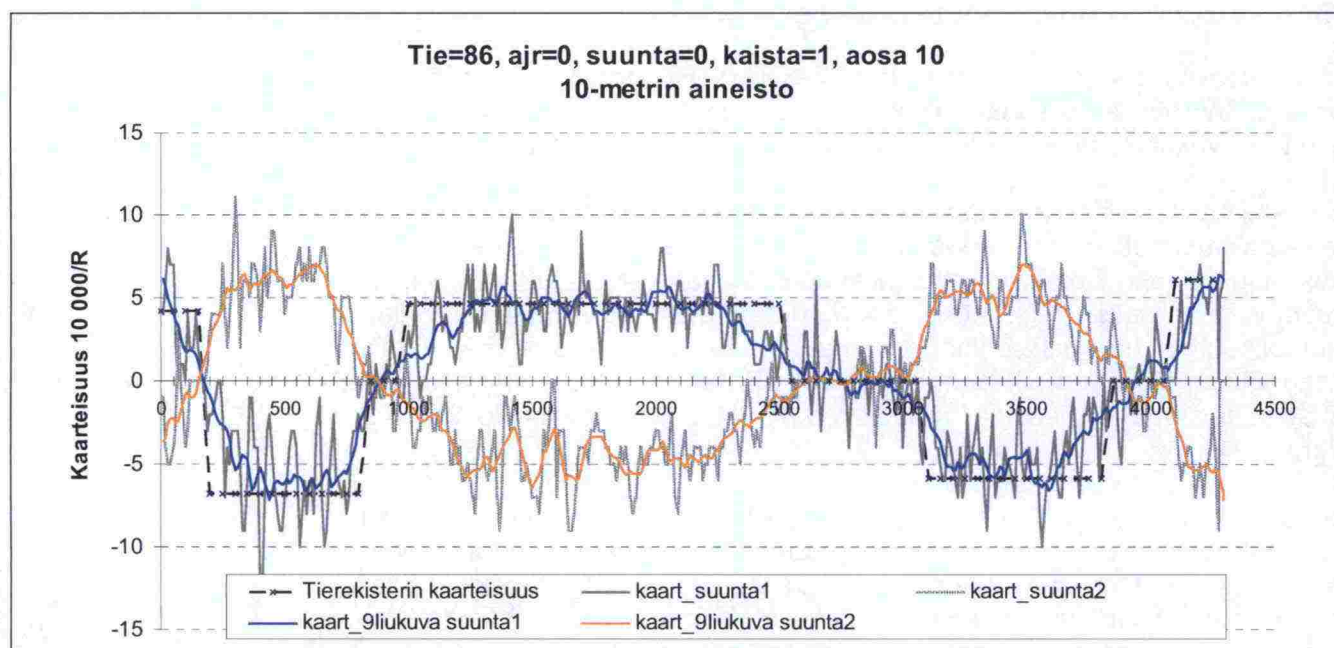
Parhaiten kaarteisuustieto täsmäsi ylemmällä tieverkolla, missä käytetään suurisäteisiä ja pitkiä vaakageometrian elementtejä. Suurin hajonta ja epätarkkuus havaittiin odotetutusti vaakageometrialtaan pienipiiteisemmällä yhdystieverkolla.

Mitatun kaarteisuustiedon ja tierekisterin kaarteisuustiedon "yhdenmukaisuus" oli parempi niin ikään ylemmällä tieverkolla. Alemmalla tieverkolla havaittiin lisäksi selvästi virheellisiä ja "vääransuuntaisia" kaarteisuustietoja. Suurimpana eroavaisuutena mitatun ja tierekisterikaarteisuuden välillä on siirtymäkaarista johtuva "epäloogisuus". Koska tierekisterin kaarteisuustieto ei sisällä siirtymäkaaria ja koska se perustuu maastossa tehtyihin silmämääräisiin havaintoihin, saattavat pitkien siirtymäkaarien kohdalla määritetyt "muutoskohdat" poiketa huomattavasti toisistaan. Esimerkkejä kaarteisuustietojen kuvaajista 50- ja 10-metrin kahteen suuntaan mitatusta aineistosta on esitetty kuvissa 21 ja 22. Kaarteisuuden loogisuutta esittäviä esimerkkikuvaajia on lisää liitteen 2 kuvaajissa 1-10.





Kuva 21. Esimerkki kaarteisuuden loogisuudesta ja tarkkuudesta kahteen suuntaan mitatulla 50 -metrin aineistolla.



Kuva 22. Esimerkki kaarteisuuden loogisuudesta ja tarkkuudesta kahteen suuntaan mitatulla 10 -metrin aineistolla.

### Kaarresäteen loogisuustarkistus

Kaarresäteen loogisuutta arvioitiin kahteen suuntaan mitatulla 50 -metrin ja 10 -metrin osa-aineistoilla. Osa-aineistojen laajuus oli noin 300 km.

Kaarresäteen loogisuuden arvioinnissa verrattiin saman paalulukeman eri suuntiin mitattujen kaarresäteiden arvoja. Kaarresäteen loogisuudelle määritettiin tarkasteluun seuraavat sallitut kelpoisuusarvot:

- a.) Eri suuntaan mitattujen kaarresäteiden loogisuus on kelvollinen mikäli niiden keskinäinen ero on pienempi kuin 10 % ja kaarresäteillä on eri etumerkit
- b.) kummankin suunnan mukaan vaakageometriatieto on suora

Ei sallittuja arvoja ovat kaikki muut kuin edellä määritellyt arvot eli kaarresäteen keskinäinen ero on  $\geq 10$  %, eri suunnan kaarteilla on sama etumerkki tai toisessa suunnassa vaakageometriatieto on kaari ja toisessa suora.

Kaarresäteen loogisuustarkastelun mukaan määritellyt kelpoisuusrajat täytti 50 -metrin viiden liukuvan keskiarvolla suodatetulla osa-aineistolla 96,7 % ja 10 -metrin yhdeksän liukuvan keskiarvolla suodatetulla osa-aineistolla 92,6 % tarkastellusta aineistosta.

### 3.5 Sivukaltevuuden muutokset

Tutkimuksessa käytetyille aineistoille määriteltiin lisäkritterit ja säännöt, joiden avulla voitiin rajata se osa aineistosta, jota on mahdollista ja perusteltua luokitaa sivukaltevuudelle asetettujen tavoitearvojen mukaisesti.

Sivukaltevuustarkasteluissa tarvittaessa erilleen rajattavaksi osaksi mittausaineistoa määritettiin vaakageometrian muutokset, joissa tien sivukaltevuus muuttuu joko kaksipuolisesta yksipuoliseksi tai päinvastoin tai yksipuolisesta yksipuoliseksi siten, että sivukaltevuuden etumerkki muuttuu. Näiden "muutoskohtien" sijainniksi vaakageometrian muutokohdassa määritettiin ensimmäinen kaaren puoleinen tulostusväli. Tulostusvälin pituus määräytyy mittausaineiston mukaisesti eli muutokohdan pituus on tällöin joko 10 m tai 50 m.

Koska mittausaineistojen kaarteisuustiedot olivat tallennustarkkuudessaan karkeajakoisia sekä kohinaisia, jouduttiin aineistoa testaamaan ja suodattamaan paremman vaakageometrian määrittelytarkkuuden saamiseksi. Mittausaineistolle tehdyn suodatuksen ja kaarteisuustiedon kaarielementtien kynysarvon määrittämisperusteet on esitetty vaakageometrian loogisuustarkastelujen yhteydessä luvussa 3.4.

Aineiston vaakageometrian muutokset alustavaa määrää arvioitaessa vertailuarvoina käytettiin mittausaineistoista laskettuja todellisia sivukaltevuuden muutokset määriä eli niiden kohtien määriä, joissa sivukaltevuus mittaussuunnassa muuttuu. Eri Liukuvan keskiluvun arvojen avulla tehtyjen suodatusten vaikutuksia muutokset määriä on esitetty taulukossa 7. Muutokset määrien ja vaikutusalueen pituuden vaikutusta sivukaltevuuspuutteiden määrään on arvioitu myöhemmin luvussa 3.7.



Taulukosta 7 nähdään, kuinka kaarresäteen tasoittaminen liukuvan keskiluvun periaatteella poistaa "kohinaa", jolloin myös muutoskohtien laskennallinen lukumäärä pienenee ja lähenee todellista muutoskohtien määrää. Vertailuarvoina on käytetty aineistosta laskettuja todellisia, aineistosta havaittuja sivukaltevuuden muutoskohtien määriä (taulukon 7 "Sivuk.etumerkki"-sarake) muutoskohtien määrien oikean "suuruusluokan" löytämiseksi.

Vaakageometrian muutoskohtien lisäksi mittausaineiston suodatuksen takia aineistosta määritettiin muutoskohdiksi myös ns. aineiston epäjatkuvuuskohdat eli kohdat, joissa todellinen tierekisteriosoitietieto katkeaa mittausaineiston "sisällä". Tierekisteriosoitietietojen epäjatkuvuuskohtien perusteella muutoskohdiksi määritettiin kaksi tulostusväliä epäjatkuvuuskohdan molemmin puolin (tien/tieosan alusta ja lopusta).

Sivukaltevuustarkasteluja varten vaakageometrian muutoskohdille määritettiin lisäksi säännöt yksittäistä muutoskohtaa laajemmille muutosalueille. Muutosalueet muodostettiin määrittämällä vaakageometrian muutoskohdan molemmin puolin tarvittava määrä tulostusvälejä muutoskohdiksi kunnes haluttu muutosalueen pituus saavutettiin. Muutoskohtien sijainti vaakageometrian muutoskohdassa määritettiin siten, että muutoskohtia lisättäessä parillinen muutoskohta lisättiin aina suora-elementin ja pariton muutoskohta aina kaari-elementin puolelle vaakageometrian muutoskohdasta katsoen.

Taulukko 7. Liukuvan keskiluvun avulla tehdyn suodatuksen vaikutus kaarteisuus-tiedon perusteella määritettyihin vaakageometrian muutoskohtien (R) määriin eri mittausaineistoissa.

		R	R 3 liukuva	R 5 liukuva	R 7 liukuva	Sivuk. etu- merkki
50 m koko data suunta 1	KPL	100648	83033	71962	na	41661
50 m koko data suunta 1	%	19.4 %	16.0 %	13.9 %	na	8.0 %
50 m 2 suuntaan data suunta 1	KPL	1127	na	493	na	239
50 m 2 suuntaan suunta 1	%	18.9 %	na	8.2 %	na	4.0 %
50 m 2 suuntaan suunta 2	KPL	1157	na	na	na	238
50 m 2 suuntaan suunta 2	%	19.4 %	na	na	na	4.0 %
10 m 2 suuntaan suunta 1	KPL	6437	na	na	929	727
10 m 2 suuntaan suunta 1	%	20.3 %	na	na	2.9 %	2.3 %
10 m 2 suuntaan suunta 2	KPL	6460	na	na	na	626
10 m 2 suuntaan suunta 2	%	20.3 %	na	na	na	2.0 %

### 3.6 Tavoitealgoritmi

Työn kuluessa kehitetty sivukaltevuuden tavoitealgoritmi perustuu Tiehallinnon **Tien suuntauksen suunnittelu** -ohjeluonnoksen (Luonnos 2.6.2003) ohjearvoihin tässä työssä määritellyin rajauksin. Tavoitealgoritmin luokittelua ja tavoiterajoja on työn kuluessa supistettu ja yksinkertaistettu sekä muokattu paremmin käytettävään aineistoon ja sivukaltevuuspuutetarkasteluihin sopivaksi. Sivukaltevuuspuutetarkasteluissa käytetyt sivukaltevuuden tavoitearvot on muokattu Oulun ammattikorkeakoulun tietekniikan laatimien sivukaltevuuden tavoitearvojen pohjalta (Insinööriö, Janne Hirvelä, OAMK 2004).

Sivukaltevuuden tavoitearvot on esitetty tien nopeusrajoituksen sekä tien vaakageometrialle tehdyn luokituksen mukaisesti. Työn kuluessa katsottiin tarpeelliseksi laatia myös määritettyjä sivukaltevuuden tavoitearvoja ”lievemmat” sivukaltevuuden tavoitearvot. Tässä yhteydessä alkuperäiset sivukaltevuuden tavoitearvot nimettiin ”tiukoiksi” tavoitearvoiksi ja jäljessä määritellyt tavoitearvot ”väljemmiksi” tavoitearvoiksi.

#### **Tiukemmat tavoitearvot**

Määritellyt tiukemmat tavoitearvot vastaavat pääpiirteittäin Tien suuntauksen suunnittelun –ohjeluonnoksessa eri kaarresäteiden vähimmäisarvoja vastaavia sivukaltevuuden arvoja laajennettuna  $\pm 1$  %-yksiköllä. (Kaarresädeluokituksen askelluksen sekä nopeusrajoitusluokitusten yhdistämisten takia määritellyt tavoitearvot eivät kuitenkaan vastaa täysin suoraviivaisesti Tien suuntauksen suunnittelun –ohjeluonnoksessa esitettyjä arvoja)

#### **Väljemmät tavoitearvot**

Väljemmät tavoitearvot on johdettu suoraan tiukemmista tavoitearvoista laajentaen tiukempien tavoitearvojen sivukaltevuuden ylä- ja alatavoiterajoja yhdellä %-yksiköllä.

Sivukaltevuuspuutteiden tarkasteluissa käytetyt sivukaltevuuden tavoiterajoarvot on esitetty taulukoissa 8 ja 9. Tien suuntauksen suunnittelun –ohjeluonnoksen mukaiset kaarresäteiden ajodynamiikan mukaiset minimiarvot eri nopeusrajoituksilla on esitetty liitteessä 2.



Taulukko 8. Sivukaltevuuden tavoitealgoritmin mukaiset tiukemmat sivukaltevuuden tavoiteraja-arvot.

			R>0	R<0	R<0
	v (km/h)	R (m)	Sisäkaarre	Ulkokaarre	Ulkokaarre
	50-70	1-179	- 7 ... - 5	+ 5 ... + 7	.
	50-70	180-189	- 6 ... - 4	+ 4 ... + 6	.
	50-70	190-199	- 5 ... - 3	+ 3 ... + 5	.
	50-70	200-649	- 4.5 ... - 2.5	+ 2.5 ... + 4.5	.
	50-70	650-10000	- 4 ... - 2	+ 1.5 ... + 4	- 4 ... - 1.5
Suoran tien arvo	50-70	>10000	- 4 ... - 2	- 4 ... - 2	- 4 ... - 2
	80	1-359	- 7 ... - 5	+ 5 ... + 7	.
	80	360-389	- 6 ... - 4	+ 4 ... + 6	.
	80	390-419	- 5 ... - 3	+ 3 ... + 5	.
	80	420-1399	- 4.5 ... - 2.5	+ 2.5 ... + 4.5	.
	80	1400-10000	- 4 ... - 2	+ 1.5 ... + 4	- 4 ... - 1.5
Suoran tien arvo	80	>10000	- 4 ... - 2	- 4 ... - 2	- 4 ... - 2
	100-120	1-649	- 7 ... - 5	+ 5 ... + 7	.
	100-120	650-719	- 6 ... - 4	+ 4 ... + 6	.
	100-120	720-799	- 5 ... - 3	+ 3 ... + 5	.
	100-120	800-2599	- 4.5 ... - 2.5	+ 2.5 ... + 4.5	.
	100-120	2600-10000	- 4 ... - 2	+ 1.5 ... + 4	- 4 ... - 1.5
Suoran tien arvo	100-120	>10000	- 4 ... - 2	- 4 ... - 2	- 4 ... - 2

Taulukko 9. Sivukaltevuuden tavoitealgoritmin mukaiset väljemmät sivukaltevuuden tavoiteraja-arvot.

			R>0	R<0	R<0
	v (km/h)	R (m)	Sisäkaarre	Ulkokaarre	Ulkokaarre
	50-70	1-179	- 8 ... - 4	+ 4 ... + 8	.
	50-70	180-189	- 7 ... - 3	+ 3 ... + 7	.
	50-70	190-199	- 6 ... - 2	+ 2 ... + 6	.
	50-70	200-649	- 5.5 ... - 1.5	+ 1.5 ... + 5.5	.
	50-70	650-10000	- 5 ... - 1	+ 0.5 ... + 5	- 5 ... - 0.5
Suoran tien arvo	50-70	>10000	- 5 ... - 1	- 5 ... - 1	- 5 ... - 1
	80	1-359	- 8 ... - 4	+ 4 ... + 8	.
	80	360-389	- 7 ... - 3	+ 3 ... + 7	.
	80	390-419	- 6 ... - 2	+ 2 ... + 6	.
	80	420-1399	- 5.5 ... - 1.5	+ 1.5 ... + 5.5	.
	80	1400-10000	- 5 ... - 1	+ 0.5 ... + 5	- 5 ... - 0.5
Suoran tien arvo	80	>10000	- 5 ... - 1	- 5 ... - 1	- 5 ... - 1
	100-120	1-649	- 8 ... - 4	+ 4 ... + 8	.
	100-120	650-719	- 7 ... - 3	+ 3 ... + 7	.
	100-120	720-799	- 6 ... - 2	+ 2 ... + 6	.
	100-120	800-2599	- 5.5 ... - 1.5	+ 1.5 ... + 5.5	.
	100-120	2600-10000	- 5 ... - 1	+ 0.5 ... + 5	- 5 ... - 0.5
Suoran tien arvo	100-120	>10000	- 5 ... - 1	- 5 ... - 1	- 5 ... - 1

### 3.7 Sivukaltevuuspuutteet

#### 3.7.1 Sivukaltevuuspuutteiden määrät

Sivukaltevuuspuutteiden määrien tarkastelut tehtiin sekä 10 -metrin että 50 -metrin osa-aineistoilla. Käytetyt aineistot olivat vuoden 2003 mittausaineistot.

Tulosten perusteella arvioitiin osa-aineistojen sivukaltevuuspuutteiden määrien keskinäisiä eroja sekä mittausaineistojen tarkkuuden kelpoisuutta verkko- tai hanketasolla käytettäväksi. Koko aineistolla tehdyillä tarkasteluilla arvioitiin sivukaltevuuspuuteongelman laajuutta yleisesti koko tieverkkotasolla sekä miten ongelmat jakautuvat teiden eri toiminnallisten luokkien kesken.

Sivukaltevuuspuutteiden määriä osa-aineistoittain on esitetty taulukoissa 10-14. Taulukoissa on lisäksi eritelty miten sivukaltevuuspuutteet jakautuvat eri vaakageometrian elementtien eli sisäkaarteiden (ajosuunnassa kaarre oikealle), ulkokaarteiden (ajosuunnassa kaarre vasemmalle) ja suorien kesken.

Taulukoissa käytettyjen vaakageometrian elementtietojen määrittelyt ovat seuraavat:

Sisäkaarre	kaarre ajosuunnassa oikealle, $0 < R \leq 10000$
Ulkokaarre	kaarre ajosuunnassa vasemmalle, $-10000 \leq R < 0$
Suora	Suorat sekä loivat kaarteet, joissa $ R  > 10000$

Tarkastelut tehtiin kaikilla osa-aineistoilla taulukossa 8 esitetyillä "tiukemmilla" sivukaltevuuden tavoiteraja-arvoilla. Edellisten lisäksi tehtiin tarkastelu myös väljemmillä sivukaltevuuden tavoiteraja-arvoilla koko tieverkkotason 50 -metrin mittausaineistolle.

#### Sivukaltevuuspuutteet kahteen suuntaan mitatussa 10-metrin osa-aineistossa

Tarkastellun aineiston kokonaispituus oli 316 km. Tarkastelujen kaarteisuus-tieto on suodatettu seitsemän liukuvan keskiluvun tasoituksella eli suodatettu kaarteisuusarvo on seitsemän peräkkäisen 10 -metrin osuuden kaarteisuuden keskiarvo. Aineiston tulostusvälinä eli lyhimmän tarkasteltavan jakson pituutena on 10 metriä. Sivukaltevuuspuutteiden määrittelyssä on otettu huomioon tien vaakageometrian muuttumiskohdista ja tierekisteriosoitetietojen epäjatkuvuudesta aiheutuvat muutoskohdat. Muutoskohtien määrä aineistosta oli 9,8 km eli 3,2 % aineistosta.

Muutoskohtien pituuden vaikutusta sivukaltevuuspuutteiden määrään arvioitiin kolmella eri vertailuaineistolla. Tarkasteluissa on muutoskohtien ympäristöstä rajattu pois eri pituiset "muutosalueet" eli yhden (10m), viiden (50m) ja seitsemän (70m) peräkkäisen 10 -metrin jakson pituiset muutosalueet.



Muutosalueen pituuden vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään on esitetty taulukossa 10. Muutosalueen pituuden muutoksen vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään oli hyvin pieni. Muutosalueiksi rajatusta aineistosta sivukaltevuuspuutteisia oli noin 55 %.

*Taulukko 10. Sivukaltevuuspuutteisiksi luokitettujen määrä vaakageometrian muutosalueen eri pituuksilla 10 metrin tulostusvälillä tuotetussa osa-aineistossa.*

	Sivukaltevuuspuutteisiksi luokitettava tiestö muutosalueen eri pituuksilla		
	70 m	50 m	10 m
Sisäkaarre	34.1 %	34.0 %	34.3 %
Ulkokaarre	43.8 %	44.4 %	45.0 %
Suora, $ R  > 10\,000$	36.4 %	36.8 %	37.5 %
Yhteensä	37.6 %	37.9 %	38.6 %

#### **Sivukaltevuuspuutteiden määrät kahteen suuntaan mitatussa 50-metrin osa-aineistossa**

Tarkastellun aineiston kokonaispituus oli 299 km. Tarkastelujen kaarteisuus-tieto on suodatettu kolmen liukuvan keskiluvun tasoituksella eli suodatettu kaarteisuusarvo on kolmen peräkkäisen 50 -metrin osuuden kaarteisuuden keskiarvo. Aineiston tulostusvälinä eli lyhimmän tarkasteltavan jakson pituutena on 50 metriä. Sivukaltevuuspuutteiden määrittelyssä on otettu huomioon tien vaakageometrian muutoksista ja tierekisteriosoitettietojen epäjatkuvuudesta aiheutuvat muutoskohdat. Muutoskohtien määrä aineistossa oli 28,5 km eli 9,5 % aineistosta.

Muutoskohtien vaikutusta sivukaltevuuspuutteiden määrään arvioitiin kolmella eri vertailuaineistolla. Vertailuaineistoista on muutoskohtien ympäristöstä rajattu pois eripituiset muutosalueet eli yhden (50m), kahden (100m) ja kolmen (150m) peräkkäisen 50 -metrin jakson määrittämät muutosalueet. Muutosalueen pituuden vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään on esitetty taulukossa 11. Muutosalueen pituuden muutoksen vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään oli hyvin pieni kuten 10 -metrin aineistolla. Muutosalueiksi rajatusta aineistosta sivukaltevuuspuutteisiksi luokitui noin 62 %.

*Taulukko 11. Sivukaltevuuspuutteisiksi luokitettujen määrä vaakageometrian muutosalueen eri pituuksilla 50 -metrin tulostusvälillä tuotetussa osa-aineistossa.*

	Sivukaltevuuspuutteisiksi luokitettava tiestö muutosalueen eri pituuksilla		
	150 m	100 m	50 m
Sisäkaarre	26.6 %	25.2 %	25.4 %
Ulkokaarre	39.6 %	42.3 %	41.7 %
Suora, $ R  > 10\,000$	26.8 %	26.8 %	27.7 %
Yhteensä	29.5 %	30.2 %	30.6 %

**Sivukaltevuuspuutteiden määrät koko 50-metrin yhteen suuntaan mitatussa aineistossa**

Sivukaltevuuspuutteiden määrä koko 50-metrin yhteen suuntaan mitatulla aineistolla on määritetty kaksilla eri sivukaltevuuden tavoitearvoilla eli taulukossa 8 esitetyillä tiukemmilla tavoitearvoilla ja taulukossa 9 esitetyillä väljemmillä tavoitearvoilla.

**Tiukemmat tavoitearvot**

Tarkastellun aineiston kokonaispituus oli 25 927 km eli noin 56 % suomen päällystetystä tieverkosta. Tarkastelujen kaarteisuustieto on suodatettu kolmen liukuvan keskiluvun tasoituksella eli suodatettu kaarteisuusarvo on kolmen peräkkäisen 50 -metrin osuuden kaarteisuuden keskiarvo. Aineiston tulostusvälinä eli lyhimmän tarkasteltavan jakson pituutena on 50 metriä. Sivukaltevuuspuutteiden määrittelyssä on otettu huomioon tien vaakageometrian muutoksista ja tierekisteriosoitetietojen epäjatkuvuudesta aiheutuvat muutoskohdat. Muutoskohtien määrä aineistossa oli 4 454 km eli 17,2 % aineistosta.

Muutoskohtien vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään on arvioitu edellä esitetyn 50 -metrin osa-aineiston tavoin, mutta neljällä eri vertailuaineistolla. Vertailuaineistoista on muutoskohtien ympäristöstä rajattu pois eri pituiset muutosalueet eli yhden (50m), kahden (100m), kolmen (150m) ja neljän (200m) peräkkäisen 50 -metrin jakson määrittämät muutosalueet. Muutosalueen pituuden vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään on esitetty taulukossa 12.

*Taulukko 12. Sivukaltevuusalgoritmin 50 metrin koko aineiston testaus, muutosalueen pituuden vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään.*

	Sivukaltevuuspuutteiksi luokittuva tiestö muutosalueen eri pituuksilla			
	200 m	150 m	100 m	50 m
Sisäkaarre	38.5 %	38.6 %	39.6 %	39.3 %
Ulkokaarre	43.4 %	45.7 %	47.4 %	46.3 %
Suora,  R >10 000	41.9 %	41.6 %	41.3 %	41.7 %
Yhteensä	41.5 %	42.0 %	42.6 %	42.4 %

Muutosalueen pituuden muutoksen vaikutus sivukaltevuuspuutteiden määrään oli hyvin pieni, noin 1 prosenttiyksikön verran. Muutosalueiksi rajatusta aineistosta luokitui sivukaltevuuspuutteiksi noin 52 % muutosaluepituuksilla 100-200 m ja 48 % muutosaluepituudella 50 m.

Koko 50 -metrin aineiston tavoiteväliin luokiteltavien ja sivukaltevuuspuutteiden määrät tien toiminnallisen luokan jaottelun ja tiukempien tavoitearvojen mukaisesti on esitetty taulukossa 13.



Sivukaltevuuspuutteiset on taulukossa jaoteltu myös kahteen ryhmään - latteat ja muut sivukaltevuuspuutteiset. Latteilla sivukaltevuuspuutteisilla tarkoitetaan sitä osaa tiestöstä, missä sivukaltevuudet jäävät pienemmiksi, mutta samaan suuntaan kalteviksi kuin algoritmilla määritelty sivukaltevuuden tavoitealue. Muut sivukaltevuuspuutteiset sisältävät sivukaltevuudeltaan tavoitealueen määrittelemää suuremmat (yliyrkät) sekä mahdolliset väärän suuntaiset sivukaltevuudet tai aineistovirheet.

Taulukon 13 perusteella sivukaltevuuspuutteiden osuus koko tieverkolla oli 36,7 % eli noin 9 515 km, joista latteita oli edelleen noin puolet eli 5 420 km. Sivukaltevuuspuutteisista suurin osa oli latteita tiestön kaikissa toiminnallisissa luokissa, mutta latteiden suhteellinen osuus sivukaltevuuspuutteisista pieneni sen mukaisesti, mitä alemmalla osaverkolla tarkastelu tehtiin.

Esimerkiksi, taulukon 13 mukaisesti valtateillä kaarteissa sivukaltevuuden tavoiteväliin luokituu noin 68 – 74 % aineistosta ja suorilla noin 74 %. Koska sivukaltevuuden tavoitearvoalue on suorilla -2 ... -4 %, jää noin 26 % valtateistä edellä mainitun tavoitealueen ulkopuolelle. "Latteita" teitä, joilla sivukaltevuus on liian pieni, on siten noin 16 % ja ylisuuria tai vääränpuoleisia sivukaltevuuksia vastaavasti noin 10 %.

#### **Väljemmät tavoitearvot**

Taulukon 14 perusteella sivukaltevuuspuutteiden osuus koko tieverkolla väljempien tavoiterajojen mukaisesti on 12,2 % eli noin 3 163 km, joista latteita on edelleen noin kolmasosa eli 540 km.

Vastaavasti taulukosta 14 nähdään, kuinka taulukossa 13 esitetyn esimerkin mukaisesti valtateillä kaarteissa sivukaltevuuden tavoiteväliin luokituu nyt noin 90 – 94 % aineistosta ja suorilla noin 94 %. Koska sivukaltevuuden tavoitearvoalue on suorilla nyt -1 ... -5 %, jää enää noin 6 % valtateistä edellä mainitun tavoitealueen ulkopuolelle. "Latteita" teitä, joilla sivukaltevuus on liian pieni, on siten noin 2 % ja ylisuuria tai vääränpuoleisia sivukaltevuuksia vastaavasti noin 4 %.

Taulukko 13. Sivukaltevuuuden tavoiteväliin luokitettujen teiden ja sivukaltevuuspuutteiden määrä tien toiminnallisen luokan jaottelun mukaan koko 50 -metrin aineistolla.

SIVUKALTEVUUSPUUTTEIDEN MÄÄRÄ TAVOITEALGORITMIN TIUKEMMILLA SIVUKALTEVUUDEN TAVOITERAJOILLA					
PTM –data 2003 ~25 500 km.		Aineiston luokittuminen			
		Tavoitevälissä yhteensä	Sivukaltevuuspuutteet		
			yhteensä	latteita	muut
Sisäkaarre	Tieverkko	61.5 %	38.5 %	14.3 %	24.2 %
Ulkokaarre	Tieverkko	56.6 %	43.4 %	31.4 %	12.0 %
Suora,  R >10 000	Tieverkko	68.8 %	31.2 %	20.9 %	10.3 %
Yhteensä	Tieverkko	63.3 %	36.7 %	22.2 %	14.5 %
Sisäkaarre	Valtatiet	73.8 %	26.2 %	11.2 %	15.0 %
Ulkokaarre	Valtatiet	67.6 %	32.4 %	26.0 %	6.4 %
Suora,  R >10 000	Valtatiet	74.2 %	25.8 %	15.7 %	10.1 %
Yhteensä	Valtatiet	72.4 %	27.6 %	17.3 %	10.3 %
Sisäkaarre	Kantatiet	68.6 %	31.4 %	11.5 %	19.8 %
Ulkokaarre	Kantatiet	63.4 %	36.6 %	29.0 %	7.6 %
Suora,  R >10 000	Kantatiet	69.3 %	30.7 %	21.4 %	9.3 %
Yhteensä	Kantatiet	67.5 %	32.5 %	21.0 %	11.5 %
Sisäkaarre	Seututiet	58.2 %	41.8 %	10.9 %	30.9 %
Ulkokaarre	Seututiet	56.6 %	43.4 %	30.2 %	13.3 %
Suora,  R >10 000	Seututiet	67.7 %	32.3 %	20.7 %	11.6 %
Yhteensä	Seututiet	61.8 %	38.2 %	20.8 %	17.5 %
Sisäkaarre	Yhdystiet	48.0 %	52.0 %	21.5 %	30.5 %
Ulkokaarre	Yhdystiet	41.8 %	58.2 %	39.2 %	19.0 %
Suora,  R >10 000	Yhdystiet	56.8 %	43.2 %	33.3 %	9.9 %
Yhteensä	Yhdystiet	48.5 %	51.5 %	31.6 %	19.9 %

Sivukaltevuuspuutteiden määrittely- ja taulukon tulkintaperiaatteet tavoitealgoritmin tiukemmilla tavoiterajoilla ovat:

- kaarresäteen arvona tarkasteluissa on käytetty kolmen peräkkäisen 50 tieosuuden liukuvaa keskiarvoa
- sivukaltevuusarvo on 50 m keskiarvo mitatulta ajokaistalta
- sivukaltevuuuden tavoitearvo perustuu ohjeeseen Tien suunnauksen suunnittelu, luonnos 2.6.2003 ja sen perusteella tehtyyn tavoitearvotaulukkoon, jossa sallitaan  $\pm 1$  % yksikön poikkeama suunnitteluohteen tavoitearvosta. Tavoitearvot on esitetty taulukossa 8.
- tarkasteluissa on poistettu aineistosta 100 m:n pituinen jakso kunkin tieosan alusta ja lopusta, joissa tienumero vaihtuu tai peräkkäisten tieosien numerointi on epäjatkuvaa.
- sivukaltevuuuden muutoskohtia ei luokiteta sivukaltevuuspuutteiksi vaakageometrian muutoskohdissa eikä muutoskohtaa edeltävällä ja seuraavalla 50 m:llä.
- sarake 'latteita' sisältää liian pienet sivukaltevuuuden itseisarvot, sarake 'muut' sisältää liian jyrkät sivukaltevuuudet ja väärän suuntaiset sivukaltevuuudet ja sarake \*yhteensä' on näiden summa.



Taulukko 14. Sivukaltevuuden tavoiteväliin luokitettujen teiden ja sivukaltevuuspuutteiden määrä tien toiminnallisen luokan jaottelun mukaan koko 50 -metrin aineistolla.

SIVUKALTEVUUSPUUTTEIDEN MÄÄRÄ TAVOITEALGORITMIN VÄLJEMMILLÄ SIVUKALTEVUUDEN TAVOITERAJOILLA					
		Aineiston luokittuminen			
		Tavoiteväliässä	Sivukaltevuuspuutteet		
		yhteensä	yhteensä	latteita	muut
Sisäkaarre	Tieverkko	87.3 %	12.7 %	4.0 %	8.7 %
Ulkokaarre	Tieverkko	80.7 %	19.3 %	12.1 %	7.2 %
Suora,  R >10 000	Tieverkko	93.0 %	7.0 %	3.7 %	3.3 %
Yhteensä	Tieverkko	87.8 %	12.2 %	6.3 %	5.9 %
Sisäkaarre	Valtatiet	94.2 %	5.8 %	1.7 %	4.0 %
Ulkokaarre	Valtatiet	89.9 %	10.1 %	7.0 %	3.1 %
Suora,  R >10 000	Valtatiet	94.4 %	5.6 %	2.1 %	3.5 %
Yhteensä	Valtatiet	93.2 %	6.8 %	3.3 %	3.5 %
Sisäkaarre	Kantatiet	92.9 %	7.1 %	2.5 %	4.6 %
Ulkokaarre	Kantatiet	88.9 %	11.1 %	8.1 %	3.0 %
Suora,  R >10 000	Kantatiet	94.1 %	5.9 %	3.6 %	2.3 %
Yhteensä	Kantatiet	92.3 %	7.7 %	4.6 %	3.1 %
Sisäkaarre	Seututiet	85.7 %	14.3 %	2.8 %	11.5 %
Ulkokaarre	Seututiet	81.8 %	18.2 %	11.4 %	6.8 %
Suora,  R >10 000	Seututiet	93.6 %	6.4 %	3.4 %	3.1 %
Yhteensä	Seututiet	87.9 %	12.1 %	5.6 %	6.5 %
Sisäkaarre	Yhdystiet	78.6 %	21.4 %	8.1 %	13.3 %
Ulkokaarre	Yhdystiet	66.1 %	33.9 %	20.0 %	13.9 %
Suora,  R >10 000	Yhdystiet	87.6 %	12.4 %	8.1 %	4.3 %
Yhteensä	Yhdystiet	76.9 %	23.1 %	12.4 %	10.7 %

Sivukaltevuuspuutteiden määrittely- ja taulukon tulkintaperiaatteet tavoitealgoritmin väljemmillä tavoiterajoilla ovat:

- kaarresäteen arvona tarkasteluissa on käytetty kolmen peräkkäisen 50 tieosuuden liukuvaa keskiarvoa
- sivukaltevuusarvo on 50 m keskiarvo mitatulta ajokaistalta
- sivukaltevuuden tavoitearvo perustuu ohjeeseen Tien suunnituksen suunnittelu, luonnos 2.6.2003 ja sen perusteella tehtyyn tavoitearvotaulukkoon, jossa sallitaan  $\pm 2$  % yksikön poikkeama suunnitteluohjeen tavoitearvosta. Tavoitearvot on esitetty taulukossa 9.
- tarkasteluissa on poistettu aineistosta 100 m:n pituinen jakso kunkin tieosan alusta ja lopusta, joissa tienumero vaihtuu tai peräkkäisten tieosien numerointi on epäjatkuva.
- sivukaltevuuden muutoskohtia ei luokiteta sivukaltevuuspuutteiksi vaakageometrian muutoskohdissa eikä muutoskohtaa edeltävällä ja seuraavalla 50 m:llä.
- sarake 'latteita' sisältää liian pienet sivukaltevuuden itseisarvot, sarake 'muut' sisältää liian jyrkät sivukaltevuudet ja väärän suuntaiset sivukaltevuudet ja sarake \*yhteensä' on näiden summa.

### 3.7.2 Sivukaltevuuspuutteiden tieosakohtaiset tarkastelut

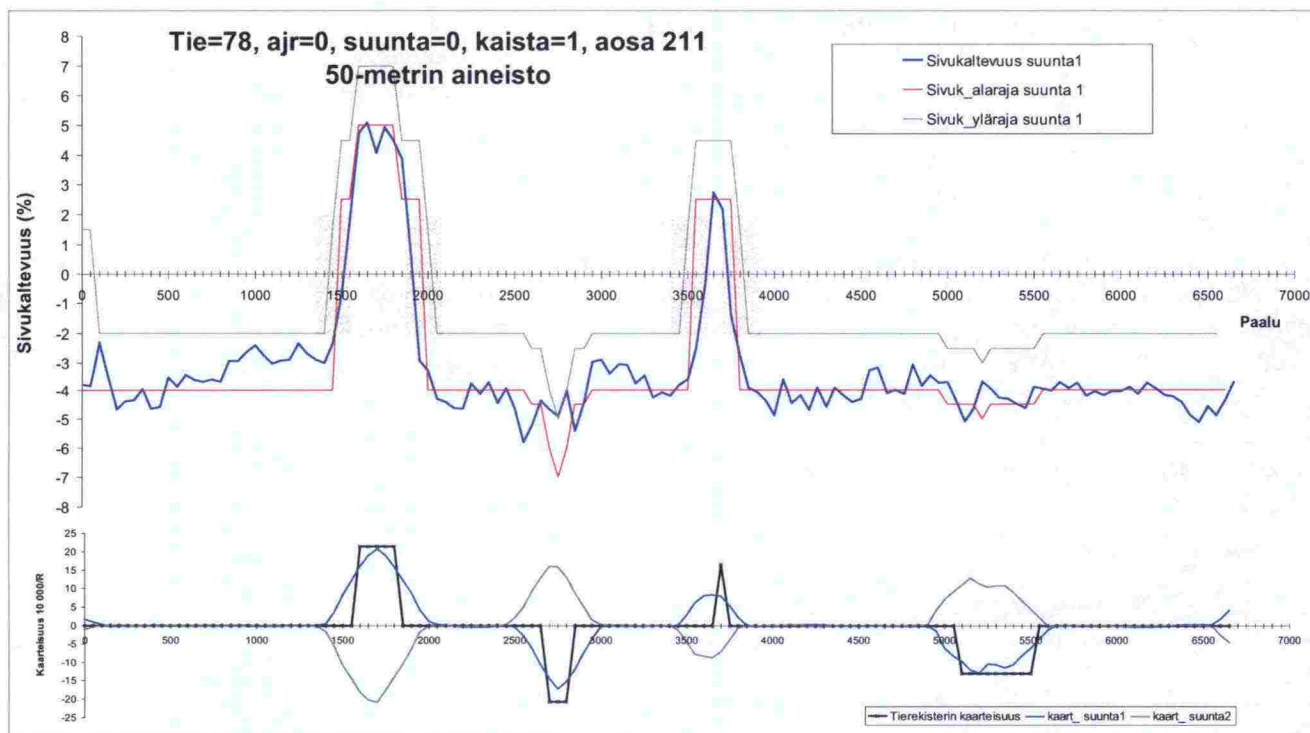
Osasta 50 -metrin aineistoa tehtiin kuvassa 23 esitetyn mukaisia tieosakohtaisia sivukaltevuuskuvaajia. Tieosakohtaisten sivukaltevuuskuvaajien sisältö ja lukuohje on esitetty seuraavassa.

- Kuvaaja koostuu kahdesta erillisestä tieosan paalutusta noudattavasta diagrammista
- Alemman diagrammin sisältö on
  - tieosan mitattu kaarteisuustieto kumpaankin ajosuuntaan.
  - tierekisterin mukainen kaarteisuustieto mitatun tiedon vertailuvoksi. Kaarteisuustiedot ovat muotoa 10 000/R, jossa R on kaarresäde. Huomaa kaarteiden suunnan "ruotsalainen" esitystapa eli vasemmalle kääntyvät kaarteet ovat positiivisia lukuarvoja ja päin vastoin.
- ylemmän diagrammin sisältö on
  - tieosan mitattu sivukaltevuus (%).
  - sivukaltevuusalgoritmin mukaiset sivukaltevuuden tavoiterajat, joiden välissä tien sivukaltevuuden tulisi sijaita. Sivukaltevuuden tavoiterajat kulkevat taitepisteiden välillä todellisuudessa täsmällisesti joko vaakaa- tai pystysuoraan. Piirustusteknisistä syistä kuvaajissa tavoiterajat kulkevat hieman vinosti pystysuunnassa.
  - vaakageometrian muutoskohdissa sijaitsevat sivukaltevuuden muutosalueet (rasteroinnit), joilla osin sivukaltevuudelle sallitaan mikä tahansa arvo. Sivukaltevuuden muutosalueen pituus vaakageometrian muutoskohdasta on 100 m kumpaankin suuntaan eli yhteensä 200 metriä.

Esimerkkikuvaajasta voidaan havaita mm. seuraavaa:

- kaarteisuuden ja kaarresäteiden mitatut arvot käyttäytyvät hyvin loogisesti eri mittaussuuntien välillä.
- myös mitattu kaarteisuus ja tierekisterin kaarteisuus käyttäytyy hyvin loogisesti.
- mitattu sivukaltevuus kulkee melko hyvin tavoiterajojen mukaisesti, mutta aikalailla "jyrkän puolen" rajalla.
- Suunnilleen paaluväleillä 1500-2000 ja 3500-3800 sivukaltevuus on yksipuolinen ja nipin napin sivukaltevuuden tavoiterajojen mukainen ottaen huomioon sivukaltevuuden muutosalueet.





Kuva 23. Esimerkki tieosakohtaisesta sivukaltevuuskuvaajasta.

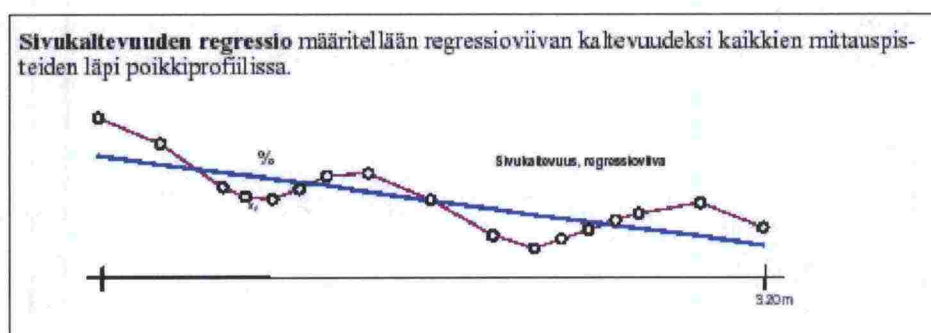
Tieosakohtaiset sivukaltevuuskuvaajat on esitetty liitteessä 3. Kuvaajien osalta voidaan tehdä seuraavanlaiset yleiset huomiot:

- kaarteisuuden ja kaarresäteiden mitatut arvot näyttävät käyttäytyvän esimerkkikuvaajissa varsinkin ylemmän tieverkon (=suuremmat elementit) osalta hyvin loogisesti eri mittaussuuntien välillä.
- myös tierekisterin kaarteisuustiedot käyttäytyvät ylemmällä tieverkolla hyvin loogisesti mitatun kaarteisuustiedon kanssa.
- Mitattu sivukaltevuus näyttää yleisesti seuraavan melko hyvin sivukaltevuuden tavoitearvoja ylemmällä tieverkolla. Esimerkeistä käy myös hyvin selville tavoitearvoista poikkeavat kohteet.
- yksipuolisten sivukaltevuuksien kohdalla sivukaltevuudet näyttävät jäävän ulkokaarteissa yleisesti tavoitealueen alarajoille, mikä oli havaittavissa myös koko tieverkkotason tarkasteluissa.
- yhdystieverkolla mitatun ja tierekisterin välinen kaarteisuuden loogisuus ei ole enää yhtä hyvä.
- yhdystieverkolla myös mitatun sivukaltevuuden ja sivukaltevuuden tavoitearvojen keskinäinen vastaavuus kärsii selvästi. Toisaalta hyvin pienipiirteisen ja vaihtelevan vaakageometrian takia muutosalueiden suhteelliset määrät joillakin tieosilla voivat nousta hyvinkin suureksi, jolloin sivukaltevuuspuuteiden määrä saattaa jäädä hyvinkin pieneksi.

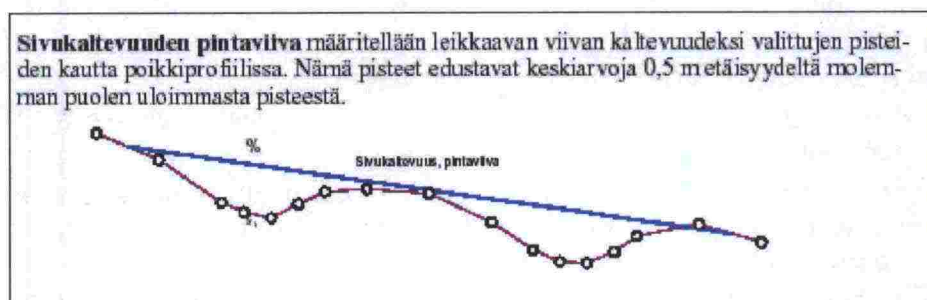
### 3.8 Sivukaltevuusprofiili 10-metrin aineistosta

Sivukaltevuusprofiilin vaikutusta sivukaltevuuspuutteiden määrään ja reunapainumien esiintymislaajuutta arvioitiin pintaviivasivukaltevuus- ja regressiosivukaltevuusarvojen vertailuilla sekä PTM –mittausten laseranturikohtaisesta mittausaineistosta piirrettyjen sivukaltevuusprofiilikuvien perusteella.

Sivukaltevuusprofiili muodostetaan tulostusväleittäin 17 laseranturin tuottaman mittaustiedon perusteella. Sivukaltevuuden pintaviiva ja regressio määritellään sivukaltevuusprofiilista PTM –parametrien kuvauksen mukaisesti kuvissa 24 ja 25 esitetyllä tavalla.



Kuva 24. Regressiosivukaltevuuden määrittely PTM –parametrikuvauksen mukaisesti.



Kuva 25. Pintaviivasivukaltevuuden määrittely PTM –parametrikuvauksen mukaisesti.

Pintaviivasivukaltevuus- ja regressiosivukaltevuusarvoista laskettiin tulostusväleittäin (10m) näiden keskinäinen suhdeluku sekä erotus. Muodoltaan moitteettomalla, vaikkakin mahdollisesti urautuneella sivukaltevuusprofiililla, pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden lukuarvot ovat keskenään hyvin lähellä toisiaan, jolloin keskinäinen suhde on lähellä arvoa 1 ja erotus lähellä arvoa 0. Mikäli sivukaltevuusprofiilin muoto on esim. reunapainuman tai profiilin reunalle sijoittuvan harjanteen takia "epämääräinen", loittonee sivukaltevuuksien lukuarvojen suhde luvusta 1 ja lukuarvojen erotus lukuarvosta 0.

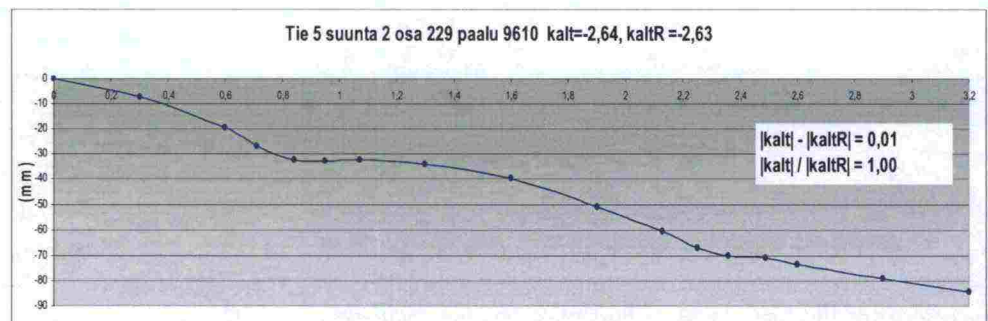


Pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden keskinäinen suhde saattaa saada virheellisesti poikkeuksellisen suuria lukuarvoja kaistan sivukaltevuuden lähestyessä arvoa 0 %. Tämän takia profiilin muodon kelpoisuuden arvioinnissa onkin parempi käyttää pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden lukuarvojen erotusta.

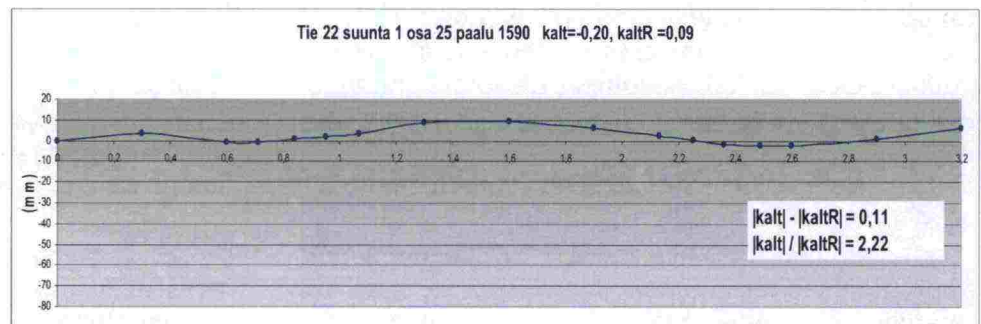
Pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden lukuarvojen erotukselle määriteltiin mittausaineiston tarkasteluilla raja-arvo, jota suuremmalla arvolla sivukaltevuusprofiilin muoto alkaa muuttua selvästi yhdensuuntaista sivukaltevuusprofiilia epämääräisemmäksi.

Esimerkkikuvaajien avulla määritettiin suuruusluokaltaan sopivan raja-arvon olevan suunnilleen välillä 0,2...0,25. Tarkastellusta 10 -metrin osaineistosta noin 23 % oli sivukaltevuusprofiililtaan sellaisia, jossa pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden lukuarvojen erotus on suurempi kuin 0,2 ja 17 % sellaisia, jossa pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden lukuarvojen erotus on suurempi kuin 0,25.

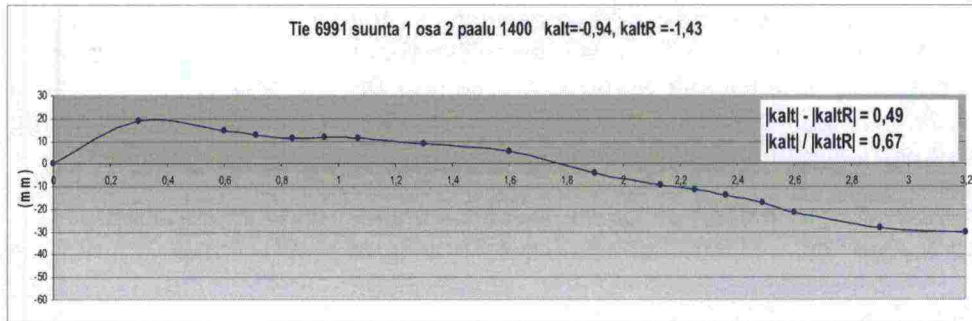
Esimerkkejä erilaisista sivukaltevuusprofiileista on esitetty kuvissa 28-29. Kuvissa käytetty merkintä "kalt" tarkoittaa pintaviivasivukaltevuuden arvoa ja "kaltR" vastaavasti regressiosivukaltevuuden arvoa. Lisäksi kuvaajissa on esitetty pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden itseisarvojen erotuksen ja suhteen lukuarvo.



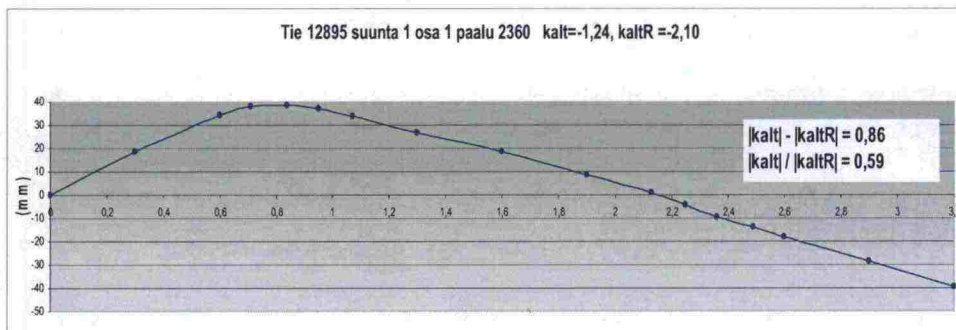
Kuva 26. Muodoltaan moitteeton sivukaltevuusprofiili valtatieltä nro 5.



Kuva 27. Muodoltaan moitteeton sivukaltevuusprofiili sivukaltevuuden muutoskohdasta valtatieltä nro 22.



Kuva 28. Muodoltaan huono sivukaltevuusprofiili maantieltä nro 6991, jossa mitauspalkki ulottuu lisäksi vastaantulevalle kaistalle tien keskiharjanteen yli.



Kuva 29. Muodoltaan huono sivukaltevuusprofiili maantieltä nro 12895, jossa mitauspalkki ulottuu selvästi vastaantulevalle kaistalle tien keskiharjanteen yli.

Sivukaltevuusprofiilien ongelmat näyttävät keskittyvän teittäin yhteneville jaksoille tai tieosille. Lisäksi sivukaltevuusprofiilin muodon epämääräisyydet ovat alemmalla tieverkolla selvästi ylempää tieverkkoa yleisempiä.

Merkittävä osa tarkastellun aineiston pintaviivasivukaltevuuden ja regressiosivukaltevuuden erotusten suurista lukuarvoista selittyy sillä, että mitauspalkki on kulkenut tien harjanteen yli osin vastaantulevalla kaistalla. Tämän seurauksena pintaviivasivukaltevuuden arvot jäävät regressiosivukaltevuuden arvoja pienemmiksi ja mitattu sivukaltevuus tien "todellista" sivukaltevuutta latteammaksi. Ilmiötä ei ole otettu huomioon tehdyissä sivukaltevuuspuutetarkasteluissa, mutta asialla saattaa kuitenkin olla osittainen vaikutus myös sivukaltevuuspuutteisten määriin, mm. latteiden suurempaan osuuteen alemmalla tieverkolla verrattuna ylempään tieverkkoon.

Reunapainumien paikallistaminen sivukaltevuusprofiilikuvista on vaikeaa. Paikallistaminen onnistunee jotenkin kapeilla päällysteleveyksillä ja mikäli reunapainumat ulottuvat laajuudeltaan selvästi ajokaistan puolelle. Jotta laakeammat reunapainuma-alueet saataisi paikannettua mittausaineiston avulla tulisi tarkasteluissa käyttää lisäksi tien pituussuuntaisia profiileja vähintään reunimmaisen/reunimmaisten laserantureiden osalta.



### 3.9 Suositus mittausten ja mittausaineiston kehittämiseksi

Työn kuluessa on mittausten ja mittausaineiston osalta noussut esille joitakin puutteita ja kehittämistarpeita. Seuraavassa on esitetty muutamia kehittämisasioita sekä perusteita muutoksille ja jatkokehittämiselle.

Kokonaislukuna rekisteriin talletettu kaarteisuustieto tulisi tallettaa vähintään yhden desimaalin tarkkuudella, mutta mieluummin tätäkin tarkempana. Eri-tyisesti suurten kaarresäteiden osalta tulisi käyttää useampaa desimaalia, kuten taulukon 15 esimerkin perusteella voidaan havaita.

Taulukko 15. Kaarteisuusarvon tallennustarkkuuden merkitys kaarresädetiedon tarkkuuteen PTM -parametrien tallennustavan mukaisesti (kaarteisuus=10000/R)

jos kaarteisuusarvo kokonaislukuna		jos kaarteisuusarvo 1 desimaalilla		jos kaarteisuusarvo 2 desimaalilla	
10000/R	R	10000/R	R	10000/R	R
1	10 000	0.5	20 000	0.50	20 000
2	5 000	0.6	16 667	0.51	19 608
3	3 333	0.7	14 286	0.52	19 231
4	2 500	2.0	5 000	2.00	5 000
5	2 000	2.1	4 762	2.01	4 975
6	1 667	2.2	4 545	2.02	4 950

Kaarteisuustiedon suuri "huojunta" tai "siksakkaus" täytyisi saada pienemmäksi joko mittaustekniikkaa kehittämällä tai mittausdataa jalostamalla, jotta se olisi sellaisenaan käyttöönotettavissa esim. tierekisterin kaarteisuustiedon korvaavaksi tiedoksi. Kaarteisuus/kaarresädetiedon tarkentaminen ja laadun parantaminen on myös välttämätöntä tarkempien sivukaltevuusalgoritmien kehittämiseksi ja käyttöönottamiseksi.

Tässä työssä käytetyn kaarteisuustiedon liukuvan keskiluvun suodatuksen sijaan saataisi olla perusteltua määritellä toisenlainen laskennallinen menetelmä, jonka avulla kaarteisuustiedosta olisi määriteltävissä tarkastelun kannalta merkittävät tiedot. Tässä yhteydessä erityisesti vaakageometrian muutokset sekä muutoskohtien välillä vallitsevat parametritiedot.

Koska RDA- datan myötä on saatavilla jo useilla tulostusväleillä tallennettua parametritietoa, tulisi laatia ohjeet tai vähintäänkin suositukset minkä tallennusvälin dataa ja mitä parametreja eri tarkoituksissa tai tarkasteluissa tulisi käyttää. Eri-tyisesti olisi perusteltua tehdä suositukset mm. verkko-, hanke- tai urakkatasolla käytettävistä aineistoista ja parametreista.

Mitattavien parametrien osalta tulisi kehittää menetelmiä parametrien laadun määrittämiseksi ja seuraamiseksi, jotta aineistosta saataisi seulottua luotettavasti selvät mittaus- ja aineistovirheet.

### 3.10 Suositus sivukaltevuusalgoritmiksi ja sen kehittämiseksi

Sivukaltevuusalgoritmin määrittelyn yhteydessä jouduttiin algoritmia mukautamaan ja yksinkertaistamaan mm. mittausaineiston ehdoilla. Ainakin toistaiseksi, tien suuntauksen suunnitteluohjeiden sivukaltevuudelle, kaarresäteelle ja nopeusrajoitusluokalle määritellyt ajodynamiikan mukaiset minimiarvot ovat liian "monitahoiset" sellaisenaan algoritmissa käytettäviksi. Lisäksi uusien teiden suunnitteluohjeiden mukaiset minimiarvot saattavat olla monin osin ehkä turhankin "laadukkaita" olevan tieverkon sivukaltevuuspuutteiden arvottamiseksi. Tämän vuoksi, ainakin alemman tieverkon osalta, tietyn tasoinen sivukaltevuusvaatimusten yksinkertaistaminen tai suoraviivaistaminen voisi olla kuitenkin perusteltua.

Algoritmin toimivuuden ja luotettavuuden kannalta suurimmat epävarmuustekijät kohdistuvat algoritmissa hyödynnetyn, palvelutasomittausten yhteydessä tuotetun vaakageometriatiedon tarkkuuteen. Sopivalla "suodatuksella" nykyisenkin vaakageometriatiedon hyödyntäminen onnistui melko hyvin, mutta ainakin tämän työn yhteydessä "oikean" suodatuksen määrittäminen osoittautui melko työlääksi. Verkkotasolla, tie- ja kuntorekisterin mukaisella 100 -metrin tulostusvälitarkkuudella tehtävissä tarkasteluissa tässä työssä määritellyillä tavoitealgoritmeilla (ks. luku 3.6) päästään melko hyvään tarkkuuteen. Hanketasoa palvelevissa ja edellistä pienemmillä aineiston tulostusväleillä tehtävissä tarkasteluissa tavoitealgoritmin luokittelevuus saattaa olla kuitenkin turhan epätarkka johtuen erityisesti vaakageometriatiedon suuresta "sahaamisesta" ilman riittävää suodatusta.

Tässä työssä sivukaltevuuspuuteproblematiikkaan on paneuduttu ensisijaisesti mittausaineiston lähtökohdista eikä niinkään itse sivukaltevuuspuutteen tai siihen erityisesti liittyvien osatekijöiden määrittelyn lähtökohdista. Sivukaltevuusalgoritmin kehittämistä tulisikin jatkaa vähemmän mittausparametrikeskeisesti, mutta määritellen samalla mahdollisia teknisiä ja parametrikohdaisia tarpeita tai vaatimuksia.

Algoritmin kehittämisen osalta tulisi keskittyä mm. seuraaviin asioihin:

- mikä on sivukaltevuuspuute ja miten se määritellään?
- milloin sivukaltevuusvaatimus on voimassa – milloin ei? Yksityiskohtien huomioon ottaminen (esim. vaakageometrian muutokset, kanavoidut liittymät, siltapaikat, muut pakkopisteet, yms.)
- määrittelyn eri osatekijät: sivukaltevuusarvon lisäksi käytettävät osatekijät (esim. pituuskaltevuus, nopeusrajoitus, vaakageometria, tms. tekijät)
- sivukaltevuuden muutosnopeuden sallitut rajat: vaakageometrian muutoksista aiheutuvat sivukaltevuuden muutokset, peräkkäisten tarkastelujaksojen sivukaltevuuksien erot ("heiluriliike")



## 4 URAUTUMISMALLIT

### 4.1 Yleistä

Urautumismallitarkasteluissa on tarkasteltu päällystetyn tiestön urautumista sekä eri tekijöiden vaikutusta tiestön urautumiseen. Urautumistarkastelut on tehty menetelmällä, joissa tarkasteltu aineisto on jaettu kaikkien muuttujien suhteen homogeenisiin osajoukkoihin siten, että jäljelle jää vain yksi muuttuja.

Tehdyillä tarkasteluilla on selvitetty KVL:n, tien leveyden ja vaakageometriaelementtitiedon vaikutusta teiden urautumiseen. Vakioituja ominaisuustietoja ovat olleet päällysteen ikä, ajoratojen lukumäärä ja nopeusrajoitusluokka. Nopeusrajoitusluokan osalta tarkastelussa on käytetty talvinopeusrajoituksia.

Koska vilkasliikenteisellä päätieverkolla käytetään yleisesti paremmin kulu-  
tusta kestäviä massatyyppejä ja päällystekiviaineiksia on näiden vaikutusta urautumiseen pyritty arvioimaan tekemällä tarkastelut sekä ilman että päällystekiviaineuksen kuulamyyllyarvot ja massatyyppin huomioon ottavilla urautumismalleilla.

Tarkasteluissa käytetty aineisto sekä tyypilliset urasyvyyydet aineiston eri osaverkoissa on esitetty luvussa 4.1. Työn kuluessa aineiston kuvaamisessa käytettyä osaverkkojakoa on muokattu, minkä takia urautumismallin tulosten esittämisessä käytetty osaverkkojako poikkeaa aineiston kuvaamisessa käytetystä osaverkkojaosta.

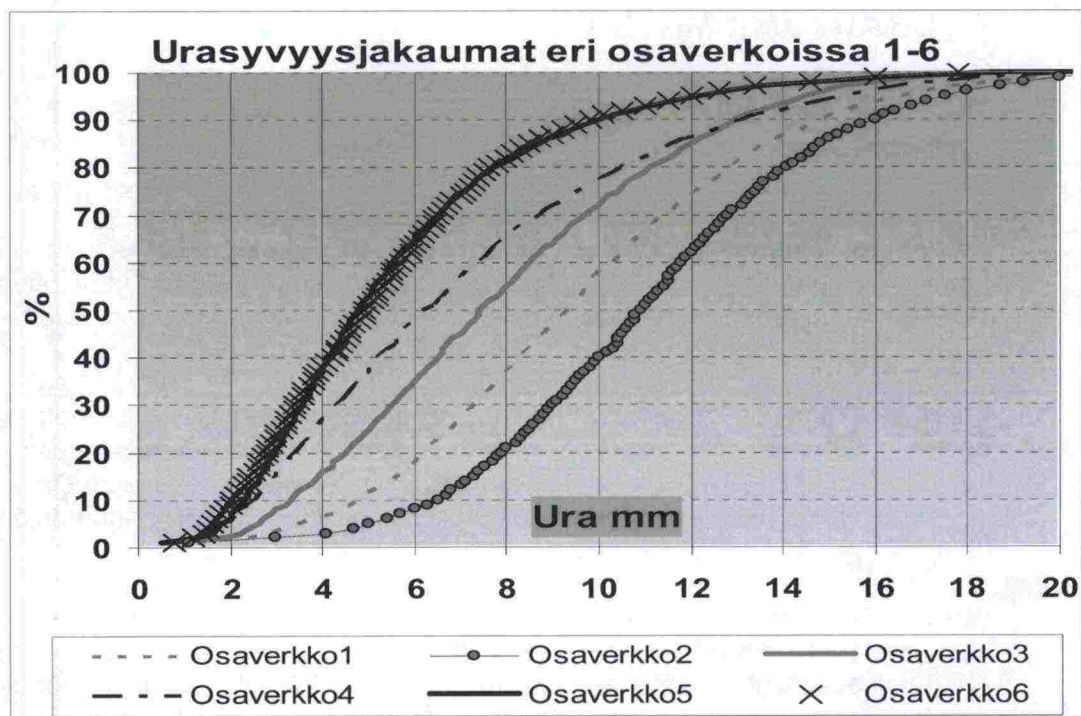
### 4.2 Aineisto

Aineiston osaverkot on muodostettu talvinopeus-, tien leveys-, KVL- ja päällysteen iän rajausten mukaisesti. Lisäksi osaverkkojaossa on otettu huomioon ajoratojen lukumäärä. Aineiston kuvaamisessa käytetty alustava osaverkkojako on esitetty liitteen 4 taulukossa 1.

Urautumisnopeuden tunnuslukuja osaverkoittain on esitetty liitteen 4 taulukoissa 2-6. Taulukoissa on otettu huomioon päällystekiviaineuksen kuulamyyllyarvot ja käytetyt massatyyppit. Taulukoissa esitetty luokitus vaakageometri-  
an osalta noudattaa seuraavia periaatteita:

Jyrkkä kaarre on	$1 \leq  R  \leq 2000$
Loiva kaarre on	$2000 <  R  < 10000$
"Suora" on	$ R  \geq 10000$

Uraasyvyyden jakaumat eri osaverkoissa on esitetty kuvassa 30. Tarkasteluissa käytetyt KVL -luokkien keskimääräiset tien leveysluokittaiset sekä kokonaisliikennemäärät on esitetty taulukossa 16.



Kuva 30. Urasyyvyyden jakaumat eri osaverkoissa.

Taulukko 16. KVL:n keskiarvot KVL-luokan sisällä, kun talvinopeusrajoitus on 80 km/h. Tätä taulukkotietoa käytetään myöhemmin oletusarvona urautumisnopeuden hyötytaulukoissa, kun tarkastellaan KVL:n ja tien leveyden eksponentteja.

	Tieleveys							Yht
	alle 6.5 m	6.5 - 7.4m	7.5 - 8.4m	8.5 - 9.4m	9.5 - 10.4m	10.5 - 12.4m	12.5 - m	
TALVINOPEUS = 80 km/h								
KVL-luokka	KVL:n keskiarvo KVL-luokan sisällä							
kvl <350	148	192	228	230	204	.	163	181
KVL 350-800	485	516	591	642	628	635	679	540
KVL 801-1500	1019	1039	1162	1259	1186	1299	1051	1115
KVL 1501-3000	2125	1828	2110	2345	2391	2444	2174	2182
KVL 3001-6000	.	4228	3821	4301	4315	4443	4892	4245
KVL 6001-12000	.	.	7204	8050	7870	8823	8415	8345
KVL 12001-	.	12581	41818	40772	21143	31858	27737	25796
Yhteensä	220	516	1907	6672	5382	13835	15171	3791



### 4.3 Urautumismallitarkastelut

#### 4.3.1 Osaverkkojako

Urautumismallitarkasteluissa käytetty osaverkkojako oli taulukossa 17 esitetyn mukainen.

Taulukko 17. Urautumismallitarkasteluissa käytetty osaverkkojako.

Osaverkko	Päällysteen ikä	Ajoratojen lkm	Tien leveys	Talvinopeus
1	=>3 vuotta	1	9-11m	mikä tahansa
2	=>3 vuotta	1	mikä tahansa	80 km/h
3	=>3 vuotta	1	mikä tahansa	100 km/h
4	mikä tahansa	2	9-11m	mikä tahansa
5	mikä tahansa	2	11.1-13m	mikä tahansa
6	=>3 vuotta	1	mikä tahansa	mikä tahansa

#### 4.3.2 Urautumisnopeus eri osaverkoissa

Selittävien tekijöiden luokittaminen urautumismalleissa on tehty seuraavan luokituksen mukaisesti:

- Tien leveys: <6.5 m, 6.5 – 7.4 m, 7.5 - 8.4 m, 8.5-9.4m, 9.5 – 10.4 m, 10.5 – 12.4 m, 12.5- m
- tien tai kaistan KVL: < 350, 350-800, 801 – 1500, 1501 – 3000, 3001 - 6000, 6001-12000, 12001-
- Talvinopeus: 60, 80, 100 km/h
- Päällysteen ikä: 1 - 2, 3 vuotta
- yksiajoratainen, 2 ajoratainen tie.

Muuttujista päällysteen ikää, talvinopeusrajoitusta ja ajoratojen lukumäärää on käytetty tieolosuhteiden vakiointia varten. Tien leveyden ja KVL:n vaikutusta urautumiseen on tarkasteltu taulukoiden avulla laskemalla urautumisnopeuksien suhteet peräkkäisten tien leveys- ja KVL-luokkien välillä. Tarkasteluissa 2-ajorataisilla teillä liikennemäärätietona on käytetty kaistan KVL-tietoa ja 1-ajorataisilla teillä koko tien KVL:ää.

Eri päällystekiviainesten ja massatyypin vaikutusten huomioon ottamiseksi päällysteiden urautumisessa on urautumisnopeuden laskemiseksi käytetty lisäksi eri KVL- ja nopeusrajoitusluokille määritettyjä "tyypillisiä" kuulamyly-arvoja ja massatyypikertoimia. Nämä "tyypilliset" massatyypikertoimet (MT) ja kuulamylyarvot (KM) on määritetty Tiehallinnon eri tiepiireille tekemien kyselyjen perusteella.

Päällystekiviaineksen kuulamylyarvo ja päällysteen massatyyppi on otettu huomioon urautumisnopeuden kaavassa seuraavasti:

$$Uranop_2 = \frac{(URA - 2) \times 45}{p.ikä \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}, missä$$

$MT$  = massatyypikerroin       $KM$  = kuulamylyarvo  
 $p.ikä$  = päällysteen ikä (a)       $URA$  = urasyvyys (mm)

Kaavan nimittäjässä oleva tekijä " $MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$ " tarkoittaa päällysteen laskennallista kulumisnopeutta, mikä ottaa huomioon käytetyn päällysteen massatyypin sekä päällystekiviaineksen. Vastaavasti osoittajassa oleva tekijä 45 on kulumisnopeuden vertailuarvo eli tyypillinen päällysteen kulumisnopeus käytettäessä tyypillistä massatyyppejä ja tyypillistä päällystekiviainesta.

Urautumisnopeustarkasteluissa käytetyt massatyyppi- ja kuulamylykertoimet on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Tarkasteluissa käytetyt kuulamylyarvot ja massatyypikertoimet sekä yleisesti massatyypikerrointa vastaavat päällystetyypit.

KOKO MAA KVL	Talvinopeus- rajoitus (km/h)	Keskimääräinen		Päällyste- tyyppi
		kuulamyly- arvo	massatyyppi- kerroin	
801-1500	100	15	2.00	PAB
1501-3000	60-100	12	1.73	
3001-6000	60-100	9	1.46	AB16...AB18
6001-12000	60	6	1.27	AB20...AB22
6001-12000	80	6	1.18	
6001-12000	100	6	1.08	SMA

Urautumisnopeustarkastelujen tulokset on esitetty osaverkkokohtaisina taulukoina. Urautumisnopeustaulukoiden yläosan riviluokittelijana ovat KVL -luokat ja alaosan riviluokittelijana ylemmän taulukon KVL -luokkien suhde ilmaistuna KVL -luokkien keskimääräisten liikennemäärien suhteena.

Liikennemäärän ja nopeusrajoituksen vaikutus urautumisnopeuteen 1 – ajorataisilla teillä (osaverkko 1) on esitetty taulukoissa 19 ja 20. Taulukoissa KVL -luokkien keskimääräisten liikennemäärien suhteet ovat likimäärin 2 eli keskimääräinen liikennemäärä kaksinkertaistuu siirryttäessä KVL -luokasta toiseen. Osaverkkojen 2-6 vastaavien tarkastelujen taulukot on esitetty liitteessä 5. Lukuohjeita on esitetty esimerkein taulukon 19 yhteydessä.

Taulukon 19 yläosan sarakkeesta 4 voidaan nähdä, että talvinopeusrajoituksella 80 km/h kulumisen olisi keskimäärin 1.12 kertaa niin nopeaa kuin talvinopeusrajoituksella 60 km/h KVL:n pysyessä vakiona.

Taulukon 19 alaosan sarakkeen 5 uranopeussuhteiden perusteella nähdään, että KVL:n kaksinkertaistuminen ei kaksinkertaista urautumista vaan KVL:n täytyy olla keskimäärin 2,26 –kertainen urautumisen kaksinkertaistamiseksi. Tämä johtunee suurimmaksi osaksi siitä, että vilkasliikenteisillä teillä käytetään paremmin kulumista kestäviä päällysteitä. Tästä syystä taulukossa 20 on urautumisnopeuden laskentakaavassa otettu huomioon taulukossa 18 esitetyn mukaiset kuulamylyarvot ja massatyypikertoimet.



Taulukko 19. Urautumisnopeustaulukko osaverkossa 1, kun kuulamylyllyarvoa ja massatyyppejä ei ole otettu huomioon. Taulukon tuloksista on lihavoitu tiepituudeltaan yli 300 km käsittävät osa-aineistot. Pienellä kursivilla fontilla on esitetty se osa-aineisto, joka on tiepituudeltaan alle 30 km.

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyypin vaikutusta kulumiseen

tieleveys2	1: 9-11m
tieleveys	(Kaikki)
Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1

$$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P.ikä}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

$$\frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{KVL_2}{KVL_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

	talvinopeus Tiedot						Uranopeus suhde 80/60	keskiverto tiepituus 80/60 km	Uranopeus suhde 100/80	keskiverto tiepituus 100/80 km
	60 km/h		80 km/h		100 km/h					
KVL LKA	Uranopeus ka	Tiepituu s km	Uranopeus ka	Tiepituu s km	Uranopeus ka	Tiepituu s km				
KVL <350	0.39	4.8	0.43	8.3	0.57	42.3	1.097	6.3	0.903	41.1
KVL 350-800	0.42	13.8	0.63	39.9	0.57	42.3	1.516	23.5	0.903	41.1
KVL 801-1500	0.48	20.4	0.51	82.3	0.48	153.0	1.060	41.0	0.945	112.2
KVL 1501-3000	0.72	99.5	0.85	634.3	0.75	200.3	1.168	251.3	0.891	356.4
KVL 3001-6000	1.04	156.1	1.14	1063.0	1.13	219.5	1.104	407.4	0.987	483.0
KVL 6001-12000	1.37	91.8	1.41	365.0	1.69	68.3	1.027	183.0	1.199	157.9
KVL 12001-	1.71	11.7	2.28	29.2	3.50	3.9	1.336	18.5	1.534	10.7
Kaikki yhteensä	1.00	398.1	1.08	2222.1	0.91	687.2	1.085	930.9	0.842	1161.3
Pain. keskiarvo	1.00		1.08		0.91		1.12		0.98	

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h		KVL-eksp	KVL-suhde
	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km		
KVL 540/181	1.053	8.1	1.456	18.2			1.331	26.3	0.262	2.983
KVL 1115/540	1.165	16.8	0.815	57.3	0.853	80.4	0.873	154.5	-0.188	2.065
KVL 2182/1115	1.495	45.0	1.648	228.5	1.553	175.1	1.595	448.6	0.696	1.957
KVL 4245/2182	1.433	124.7	1.355	821.1	1.501	209.7	1.390	1155.5	0.494	1.945
KVL 8345/4245	1.323	119.7	1.230	622.9	1.494	122.4	1.280	865.0	0.365	1.966
KVL 25796/8345	1.244	32.8	1.619	103.3	2.070	16.3	1.587	152.4	0.409	3.091
Pain. keskiarvo	1.363		1.348		1.444				0.442	

sarake 0 sarake 1 sarake 2 sarake 3 sarake 4 sarake 5

Vasemmalta lukien ylemmän taulukon sarakkeissa 1-3 on esitetty uranopeuden keskiarvot ja aineistomäärät (tiekm) KVL:n ja talvinopeusrajoituksen luokitteluissa osa-aineistoissa. Näiden perusteella on edelleen laskettu uranopeuksien suhde sekä näitä vastaava aineistomäärien keskiverto (esim.  $C=B/A$ ), jotka on esitetty sarakkeissa 4 ja 5. Sarakkeitten alapuolelle on laskettu lisäksi summarivi sekä aineistomääriillä painotetut urautumisnopeuden ja urautumisnopeussuhteiden keskiarvot.

Vastaavasti alemman taulukon sarakkeissa 1-3 on esitetty ylemmän taulukon peräkkäisten KVL –luokkien urautumisnopeuksien suhde sekä vastaavat aineistomäärät (esim.  $F=E/D$ ). Riviotsakkeina on käytetty KVL –luokkien keskimääräisten liikennemäärien suhdetta (varsinainen suhteen lukuarvo on esitetty sarakkeessa KVL-suhde). Eri nopeusrajoitusluokkien urautumisnopeussuhteiden painotettu keskiarvo on esitetty sarakkeessa 4 (esim.  $I=pain.ka[F,G,H]$ ).

Lopuksi on sarakkeeseen 5 laskettu KVL –eksponentit uranopeussuhteiden painotettujen keskiarvojen ja KVL –suhteiden avulla, missä KVL –eksponentti on KVL –suhdekantainen logaritmi uranopeussuhteen painotetusta keskiarvosta (esim.  $J=log_K I$  eli toisin sanoen  $I=K^J$ ).

Taulukko 20. Urautumisnopeustaulukko osaverkossa 1, kun kuulamylyllyarvo ja massatyypin on otettu huomioon. Taulukon tuloksista on lihavoitu tiepituudeltaan yli 300 km käsittävät osa-aineistot. Pienellä kursivilla fontilla on esitetty se osa-aineisto, joka on tiepituudeltaan alle 30 km.

Mallissa on otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyypin vaikutus kulumiseen

tieleveys2

1: 9-11m

tieleveys

(Kaikki)

Päällysteen ikä

2: 3- vuotta

Ajoratojen LKM

1

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

×

(

9.4 + 2.21 × KM

)

URA - 2

× 45

P

J

k

ā

×

M

T

Taulukon 20 alaosan ja sarakkeen 5 perusteella voidaan nähdä, että päällysteiden kulumisen suunnilleen kaksinkertaistuu KVL:n kaksinkertaistuessa (KVL -eksponentti 1.021). Talvinopeudella 80 km/h kulumisen on 1.13 kertaa niin suurta kuin talvinopeudella 60 km/h ja talvinopeudella 100 km/h kulumisen on 1.01 kertaa niin suurta kuin talvinopeudella 80 km/h, mitkä ovat suunnilleen samat kuin taulukon 19 vastaavat arvot.



Taulukoon 21 on koottu yhteenveto osaverkoittain kaikista tehdyistä eksponenttitarkasteluista. Taulukoiden laatimiseksi on käytetty seuraavassa esitetyjä laskentakaavoja:

$$\frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{KVL_2}{KVL_1} \right)^{KVL \text{ eksp}} \cdot \frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{tienleveys_2}{tienleveys_1} \right)^{leveys \text{ eksp}}$$

Kaavoissa kahden peräkkäisen KVL:n tai tienleveysluokan uranopeudet on jaettu keskenään ja verrattu niitä joko keskimääräiseen peräkkäisten KVL- tai tien leveysluokkien suhteen X:een potenssiin. Ratkaisemalla potenssi X on saatu edelleen taulukossa 21 esitetyt KVL:n sekä tien leveyden eksponentit.

Taulukko 21. Yhteenvetotauluko eksponenttitarkasteluista osaverkoittain

Osaverkko	KVL -eksponentti						
	Tien leveys 5.9m	Tien leveys 6.8m	Tien leveys 7.9m	Tien leveys 8.8m	Tien leveys 9.9m	Tien leveys 10.7m	Tien leveys 13.6m
1 ajorata P.ikä =>2v Talvinop.80,100		1.23	1.08	1.10	1.06	1.09	0.99

Osaverkko	KVL - eksponentti	Tien leveyden eksponentti					
		6.8 / 5.9m	7.9 / 6.8m	8.8 / 7.9m	9.9 / 8.8m	10.7 / 9.9m	13.6 / 10.7m
1 ajorata P.ikä =>2v Tien lev. 9-11m	1.02	-		-	-	-	-
1 ajorata P.ikä =>2v Talvinop.80,100	-	4.27	0.29	0.42	-0.69	-1.21	-0.63
2 ajorataa Tien lev. 9-11m	1.35	-	-	-	-	-	-
2 ajorataa Tien lev. 11.1-13m	1.30	-	-	-	-	-	-

Yhteenvetotaulukosta 21 nähdään, että tien KVL -eksponentti yksiajorataisilla teillä on hieman yli 1 ja kaksiajorataisilla teillä hieman yli 1,3. Yhteenvetotaulukon 21 alemmasta osataulukosta nähdään, että enintään 10.5m leveillä teillä leveyden eksponentin arvo on välillä -0.69 ja 0.42 ja eksponenttien keskiarvo lähellä nollaa. Hyvin leveillä teillä (yli 10,5m) eksponentin arvo on välillä -0.63 ja -1.21 eli lähellä 1.0:aa.

Vaakageometrian vaikutusta urautumisnopeuteen tarkasteltiin erillisellä valta- ja kantatieverkolta valitulla osa-aineistolla taulukossa 22 esitetyn mukaisesti. Tarkasteltavaan aineistoon valittiin pituudeltaan vähintään 2 km pitkiä ja yhtenäisiä päällystyshankkeita, joiden sisällä tien leveys ja päällysteen ikä pysyvät vakiona. Lisäksi päällysteen iälle asetettiin minimirajaksi 3 vuotta ja talvinopeusrajoitukselle 80 tai 100 km/h.

Taulukon 22 mukaisesti tien vaakageometrian vaikutus urautumisnopeuteen oli hyvin pieni, minkä takia vaakageometrian vaikutusta ei ole tarpeen ottaa huomioon myöskään urautumismallissa. Kapeilla teillä (leveys 3-8.4m) kaarteet urautuvat noin 5 % hitaammin verrattuna suoriin. Keskileveillä teillä (leveys 8.5-10.4m) jyrkät kaarteet urautuvat noin 10 % hitaammin kuin suorat, mutta loivat kaarteet suunnilleen suorien tavoin. Yli 10.5 m leveillä teillä vaakageometrialla ei näyttäisi olevan vaikutusta urautumisnopeuteen.

Taulukko 22. Tien vaakageometrian vaikutus urautumisnopeuteen valituissa neljässä tien eri leveysluokassa.

Tien leveys 3 - 8.4m					Tien leveys 8.5 - 9.4m						
Uranopeussuhde		Tien pituuden keskiverto		Painotettu urautumisnopeussuhde	Uranopeussuhde		Tien pituuden keskiverto		Painotettu urautumisnopeussuhde		
Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora		
		411.92	302.62	394.26	287.67			103.83	70.38	102.24	63.66
		0.96		0.95				0.98		0.90	

Tien leveys 9.5-10.4m					Tien leveys 10.5-m						
Uranopeussuhde		Tien pituuden keskiverto		Painotettu urautumisnopeussuhde	Uranopeussuhde		Tien pituuden keskiverto		Painotettu urautumisnopeussuhde		
Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora	Loiva / suora	Jyrkkä / suora		
		162.47	141.73	158.17	127.51			184.23	120.94	184.88	121.65
		0.97		0.90				1.00		1.01	

Urautumisnopeussuhde on laskettu leveysluokittain siten, että urautumisnopeudet kaarteissa on jaettu suoran tien urautumisnopeuden arvoilla. Painotettu urautumisnopeussuhde on laskettu näin saaduista urautumisnopeussuh-teista edelleen käyttämällä painotuksena aineistosta laskettujen kaarteiden ja suorien pituuden keskivertoja.

Taulukon aineistona on käytetty valta- ja kantatieverkon vähintään 2 km pitkiä ja yhtenäisiä päällystyshankkeita, joiden sisällä tien leveys ja päällysteen ikä pysyvät vakiona ja joiden päällysteen ikä on vähintään 3 vuotta ja talvi-nopeusrajoitus 80 tai 100 km/h. Urautumisnopeuden osalta on käytetty kuulamylylarvoilla ja massatyypikertoimil-la korjattuja urautumisnopeuksia.

Vaakageometrian luokittamisperusteena on käytetty seuraavaa jaottelua:

- Jyrkkä kaarre
- $1 \leq |R| \leq 2000$
- Loiva kaarre
- $2000 < |R| < 10000$
- "Suora"
- $|R| \geq 10000$



### Urautumismallin kaavat

Kaavoissa (1- ja 2-ajorataiset tiet) käytetyt KM (=kuulamyly) ja MT (=massatyypin) arvot on esitetty sivulla 55 luvussa 4.2.2. **Malleja sovelletaan, kun tien tai kaistan KVL on välillä 1500 - 6000.**

Yksiajorataisten teiden urautumisnopeuden kaava kuulamyly- ja massatyypin vaikutus huomioon ottaen on seuraava:

$$Ura = \{2mm\} + K \times p.ikä \times (tienKVL)^{1.00} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\} \\ \times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80, 100 \end{array} \right\} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$$

Kaksiajorataisten teiden urautumisnopeuden kaava on:

$$Ura = \{2mm\} + K \times p.ikä \times (kaistaKVL)^{1.30} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\} \\ \times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } v = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } v = 80 \\ 1.10, \text{ kun talvinopeus } v = 100 \end{array} \right\} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$$

Kaavan muoto perustuu VTT/RTE:n tiehallinnolle aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin.

Urautumiskaavan edessä oleva kerroin K haetaan testaamalla 6 osaverkossa aineisto siten, että lasketaan ennustettu urasyvyys ja jaetaan se mitatulla urasyvyydellä. Näiden suhteiden keskiarvot esitetään valituissa osaverkoissa ja verrataan saatuja urautumissuhteita toisiinsa (KVL-, nopeus- ja tien leveysluokissa): mikäli ne ovat valituissa osaverkoissa lähes samat - käytetään suhteiden keskiarvojen käänteislukua mallin edessä kertoimena.

Tarkastelujen mukaan mallin edessä olevan kertoimen K käänteisluvuksi on saatu taulukossa 23 esitetyt arvot.

Taulukko 23. Yhteenveto urautumiskaavan muuntokertoimista.

Osaverkko	K
1, 2, 3, 6 (1-ajor tie)	$\frac{1}{153300} \text{ mm/v}$
4, 5 (2-ajor tie)	$\frac{1}{190000} \text{ mm/v}$

Taulukon 23 perusteella yksiajorataisten teiden urautumiskaavaa voidaan edelleen johtaa seuraavasti:

$$Ura = \{2mm\} + \frac{1}{153300} \times p.ikä \times (tienKVL)^{1.00} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80,100 \end{array} \right\} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$$

$$Ura = \{2mm\} + \frac{0.3}{46} \times p.ikä \times \frac{(tienKVL)^{1.00}}{1000} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80,100 \end{array} \right\} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$$

Näin ollen lopputulokseksi saadaan:

$$Ura = \{2mm\} + 0.3 \times p.ikä \times \frac{(tienKVL)^{1.00}}{1000} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80,100 \end{array} \right\} \times \frac{MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}{46}$$

Taulukon 23 perusteella kaksiajorataisten teiden urautumiskaavaa voidaan edelleen johtaa seuraavasti:

$$Ura = \{2mm\} + \frac{1}{190000} \times p.ikä \times (kaistaKVL)^{1.30} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80 \\ 1.10, \text{ kun talvinopeus } w = 100 \end{array} \right\} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$$

$$Ura = \{2mm\} + \frac{0.25}{46} \times p.ikä \times \frac{(kaistaKVL)^{1.30}}{1000} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5m \end{array} \right\}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80 \\ 1.10, \text{ kun talvinopeus } w = 100 \end{array} \right\} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)$$

Näin ollen lopputulokseksi saadaan:

$$Ura = \{2mm\} + 0.25 \times p.ikä \times \frac{(kaistaKVL)^{1.30}}{1000} \times \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \text{ kun tien leveys } l \leq 10.5 \\ \left(\frac{l}{10}\right)^{-0.75}, \text{ kun tien leveys } l > 10.5 \end{array} \right\}$$

$$\times \left\{ \begin{array}{l} 0.85, \text{ kun talvinopeus } w = 60 \\ 1.00, \text{ kun talvinopeus } w = 80 \\ 1.10, \text{ kun talvinopeus } w = 100 \end{array} \right\} \times \frac{MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}{46}$$

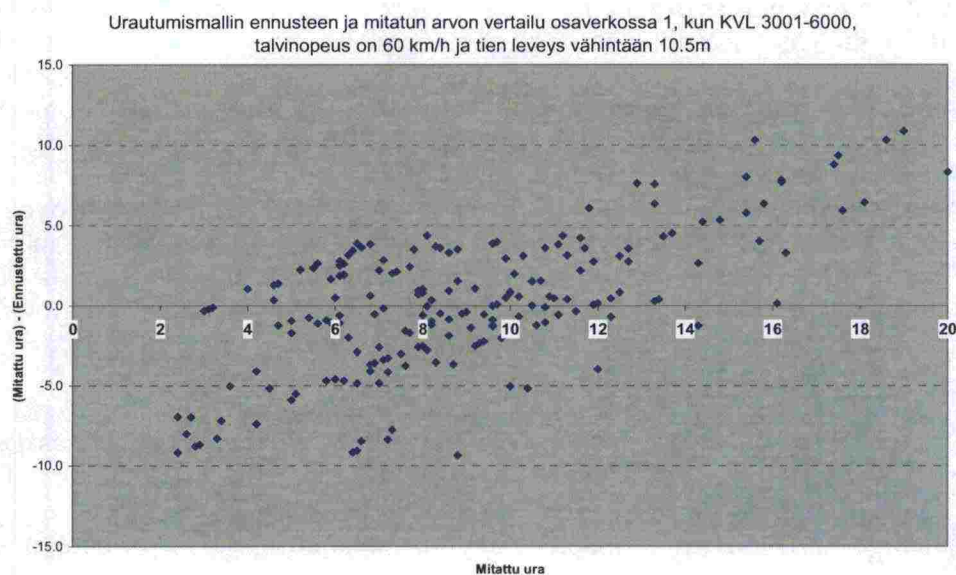


Nämä kaavat perustuvat pääasiassa uudelleen päällystettyihin kohteisiin. Uudella tai vastarakennetussa tierakenteessa sitomattomat kerrokset kuitenkin jälkitiivistyvät. Tällöin kaavan alussa oleva tekijä tulisi korvata suuremmalla arvolla kuin 2 mm (esimerkiksi 4-6 mm), joka edustaa paremmin jälkitiivistymisen aiheuttamaa urautumista.

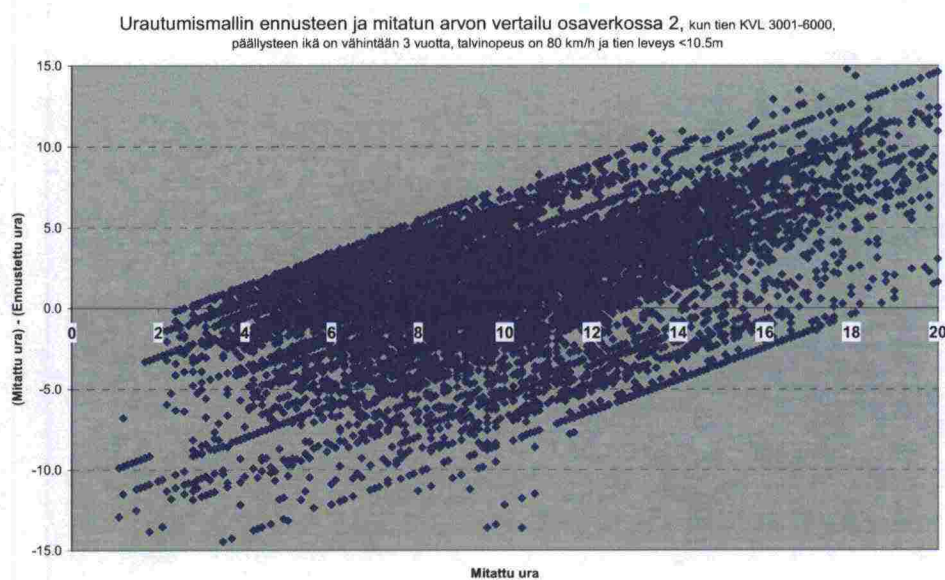
Urautumismallien ennusteiden ja mitatun uran erotuksista tulostettiin esimerkkejä kuudessa eri osaverkossa. Esimerkit on esitetty XY-kuvaajina (kuvat 31-36), joissa Y-akselilla on esitetty ennustettu urasyvyys ja X-akselilla mitattu urasyvyys. Eri osaverkot sekä näiden ennustettu sekä mitattujen urasyvyysien keskiarvo on esitetty taulukossa 24.

Taulukko 24. Edellä johdetun kaavan käytöstä esitettävien esimerkkien eri osaverkot sekä ennustetut urasyvyys ja mitattujen urasyvyysien keskiarvot.

Esimerkki	Osaverkon pituus	Mitattu urasyvyys	Ennustettu urasyvyys
<ul style="list-style-type: none"> <li>1-ajor,</li> <li>Tien KVL-luokan 3001-6000 ka 4245 ajon/d.</li> <li>Talvinopeus 60 km/h.</li> <li>Tien leveys 11 m (&gt;10.5 m).</li> <li>Päällysteen ikä ka. 9.3 v</li> </ul>	20 km	9.4 mm	7.9 mm
<ul style="list-style-type: none"> <li>1-ajor,</li> <li>Tien KVL-luokan 3001-6000 ka 4245 ajon/d.</li> <li>Talvinopeus 80 km/h.</li> <li>Tien leveys 7.5 m (&lt;10.5 m).</li> <li>Päällysteen ikä ka. 7.4 v</li> </ul>	1263 km	9.8 mm	8.2 mm
<ul style="list-style-type: none"> <li>1-ajor,</li> <li>Tien KVL-luokan 3001-6000 ka 4245 ajon/d.</li> <li>Talvinopeus 100 km/h.</li> <li>Tien leveys 8.4 m (&lt;10.5m).</li> <li>Päällysteen ikä ka. 6.1 v</li> </ul>	172 km	9.6 mm	9.2 mm
<ul style="list-style-type: none"> <li>1-ajor,</li> <li>Tien KVL-luokan 3001-6000 ka 4245 ajon/d.</li> <li>Talvinopeus 100 km/h.</li> <li>Tien leveys 13 m (&gt;10.5).</li> <li>Päällysteen ikä ka 5.3 v</li> </ul>	42 km	7.2 mm	7.2 mm
<ul style="list-style-type: none"> <li>2-ajor,</li> <li>Kaistan KVL-luokan 3001-6000 ka 4245 ajon/d.</li> <li>Talvinopeus 80 km/h.</li> <li>Tien leveys 9 m (&lt;10.5m).</li> <li>Päällysteen ikä ka 3.9v</li> </ul>	59 km	7.7 mm	7.9 mm
<ul style="list-style-type: none"> <li>2-ajor,</li> <li>Kaistan KVL-luokan 3001-6000 ka 4245 ajon/d.</li> <li>Talvinopeus 100 km/h.</li> <li>Tien leveys 13m (&gt;10.5m).</li> <li>Päällysteen ikä ka 3.6v</li> </ul>	209 km	7.4 mm	7.0 mm

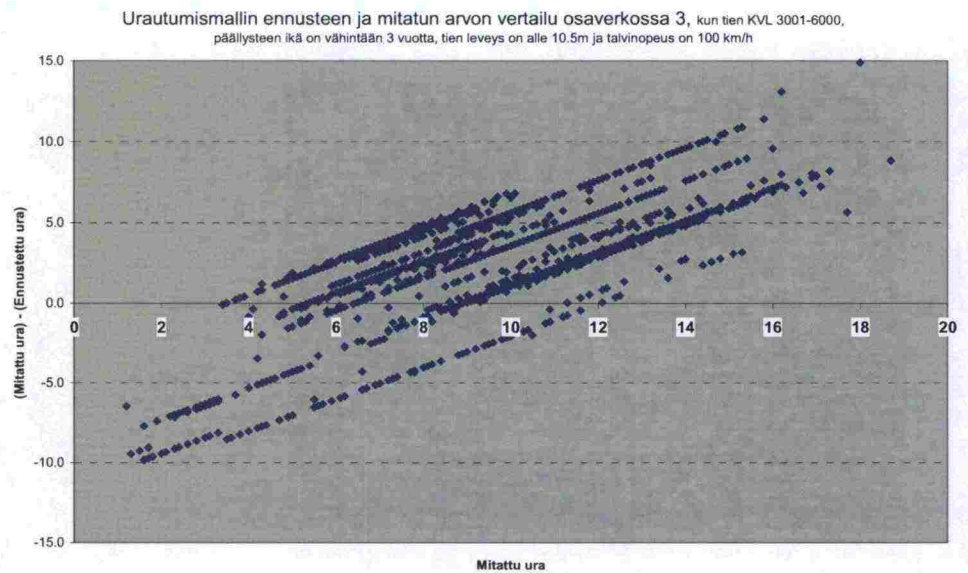


Kuva 31. Urautumismallin ennustetun ja mitatun urasyvyydenarvot osa verkossa. 1.

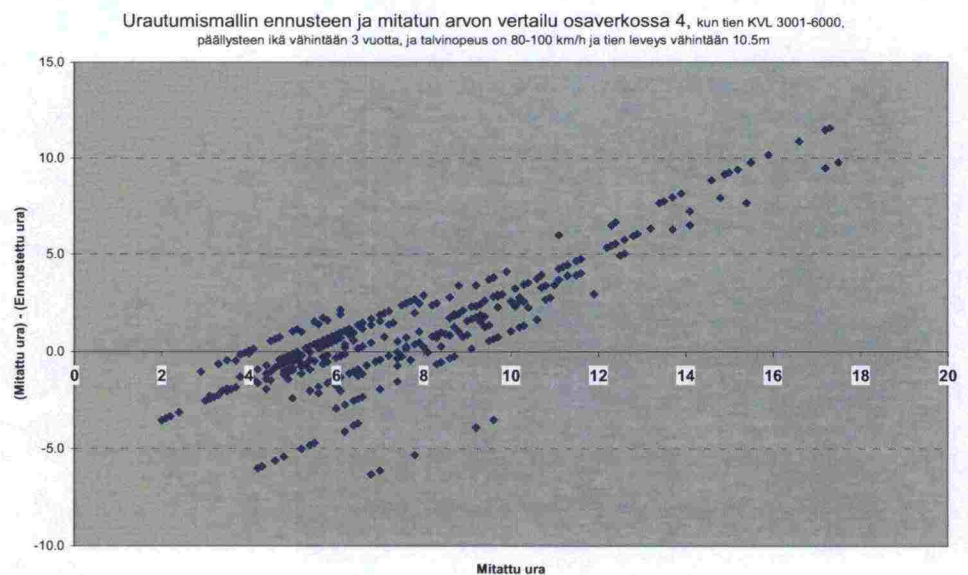


Kuva 32. Urautumismallin ennustetun ja mitatun urasyvyydenarvot osaverkossa 2.

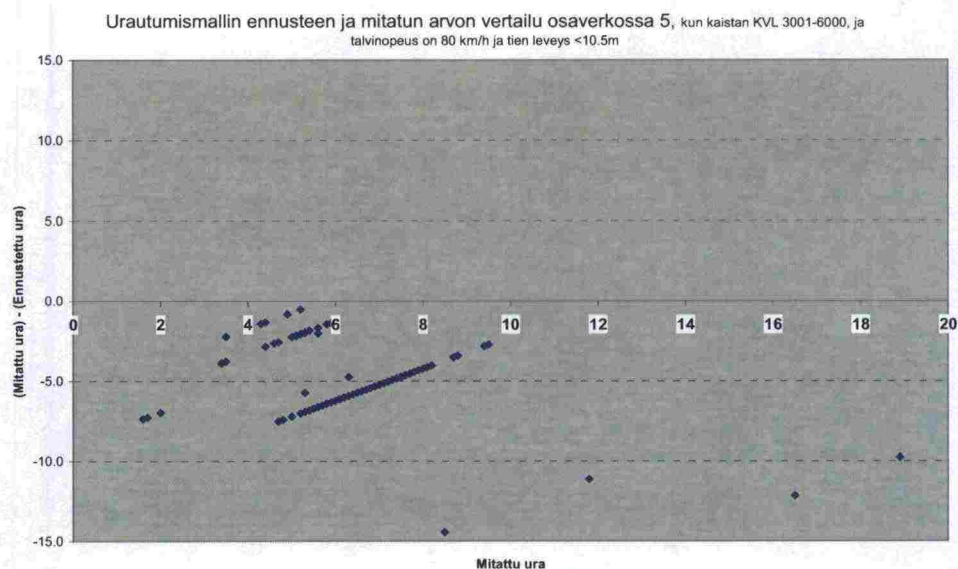




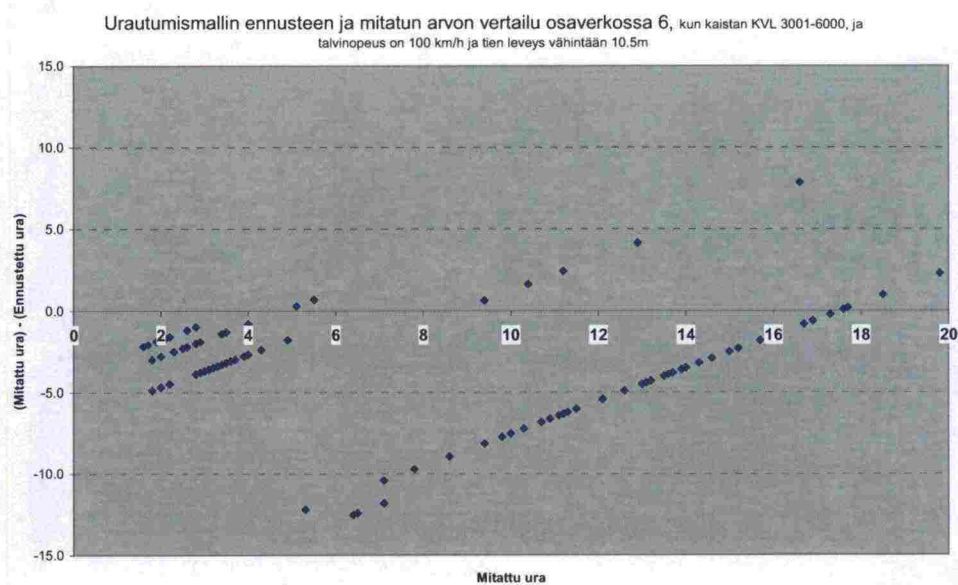
Kuva 33. Urautumismallin ennustetun ja mitatun urasyvyydenarvot osaverkossa 3.



Kuva 34. Urautumismallin ennustetun ja mitatun urasyvyydenarvot osaverkossa 4.



Kuva 35. Urautumismallin ennustetun ja mitatun urasyvyydenarvot osaverkossa 5.



Kuva 36. Urautumismallin ennustetun ja mitatun urasyvyydenarvot osaverkossa 6.

### Additiivisen sakkomallin ja kerrointyyppisen urautumismallin vertailu

Vertailun vuoksi kokeiltiin menetelmää, jossa kerrointyyppisestä urautumismallista poiketen kaikkia osatekijöitä ei kerrottu keskenään, vaan ainoastaan KVL-tekijä kerrottiin muiden osatekijöiden summalla.



Vertailussa laskettiin uraennusteet kummallakin mallilla, minkä jälkeen laskettiin erotuksen itseisarvot mitattujen ja ennustettujen arvojen perusteella. Vertailut tehtiin aineistolla, missä tien KVL oli välillä 1500-6000 ajon/vrk.

Vertailun tulokset nähdään taulukosta 25 (pienempi summa on parempi). Kerroinmallin keskimääräinen ennustevirheen itseisarvo on 3.2 mm ja sakkomallin 3.4 mm.

*Taulukko 25. Kerroin-malli ja sakkomallityyppisen urautumismallin vertailun tulokset.*

Havaintoja vertailussa 75182 kpl	<b>Kerroin-malli</b>	<b>Sakkomalli</b>
Uraerojen itseisarvojen summa (mm)	240 611 mm	256 719 mm

## 5 LIITTEET

- Liite 1 Sivukaltevuustarkastelujen mittausaineistot, aineistomäärät ja jakaumat, 4s.
- Liite 2 Kaarresäteen ajodynamiikan mukaiset minimiarvot eri nopeusrajoituksilla teiden suuntauksen suunnittelun ohjeluonnoksen 20.6.2003 mukaisesti, 1s.
- Liite 3 Tieosakohtaiset sivukaltevuus- ja kaarteisuusprofiilikuvaajat, 11s.
- Liite 4 Urautumismallitarkastelujen aineiston alustava osaverkkojako, 2s.
- Liite 5 Urautumismallitarkastelujen urautumisnopeustaulukot osaverkoittain, 7s.



# SIVUKALTEVUUSTARKASTELUN LIITTEET

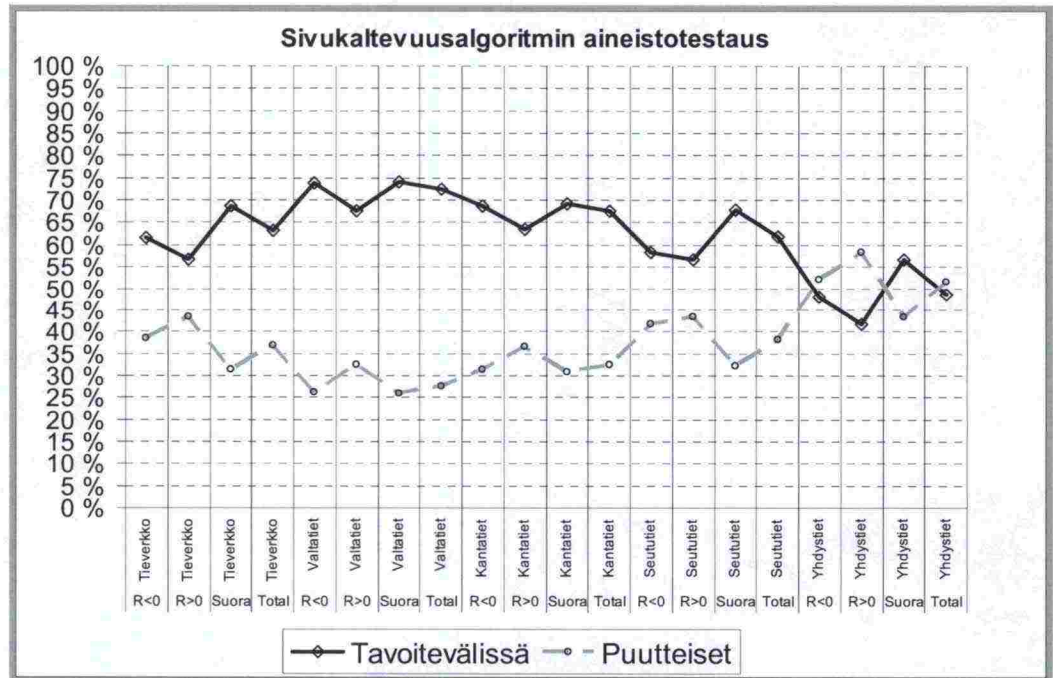
	Suunta	kaari	suora	Yhteensä
<b>10-metrin 2 suuntaan mitattu osa-aineisto</b>				
Pituus km	1	216.7	99.2	315.9
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 km	1	73.2	42.7	115.9
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 %	1	33.8	43.1	36.7
Pituus km	2	210.6	92.1	302.7
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 km	2	70.3	36.8	107.1
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 %	2	33.4	40.0	35.4
<b>50-metrin 2 suuntaan mitattu osa-aineisto</b>				
Pituus km	1	185.9	112.7	298.6
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 km	1	55.2	38.2	93.4
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 %	1	29.7	33.8	31.2
Pituus km	2	189.8	108.8	298.6
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 km	2	55.3	34.8	90.1
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 %	2	29.1	31.9	30.1
<b>50-metrin 1 suuntaan mitattu kokoaineisto</b>				
Pituus km	1	23 154	1 586	24 740
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 km	1	7 750	479	8 229
Sivukaltevuus välillä -2.25...+2.25 %	1	33.5	30.2	33.3

Havaintojen määrä	$X < -4$	$-4 \leq X < -2.5$	$-2.5 \leq X < -2$	$-2 \leq X < -1.5$	$-1.5 \leq X < 0$	$0 \leq X < 1.5$	$1.5 \leq X < 2$	$2 \leq X < 2.5$	$2.5 \leq X < 4$	$X > 4$
<b>10 metrin osa-aineisto</b>										
+R	2117	3783	747	403	357	34	3	4	5	1
-R	104	458	230	243	603	1180	930	1071	2573	520
suorat	1838	7394	2688	1876	2031	295	42	31	42	2
Yhteensä	4059	11635	3665	2522	2991	1509	975	1106	2620	523
<b>50 metrin osa-aineisto</b>										
+R	353	873	127	57	37	11	1	0	2	0
-R	19	136	62	46	137	221	179	259	480	44
suorat	313	1615	484	300	192	22	0	1	0	0
Yhteensä	685	2624	673	403	366	254	180	260	482	44

50 metristen määrä (kpl)	$X < -4$	$-4 \leq X < -2.5$	$-2.5 \leq X < -2$	$-2 \leq X < -1.5$	$-1.5 \leq X < 0$	$0 \leq X < 1.5$	$1.5 \leq X < 2$	$2 \leq X < 2.5$	$2.5 \leq X < 4$	$X > 4$	
50-metrin aineisto valtateilla											
+R	7609	22084	4468	2053	1277	268	5	5	10	1	37780
-R	598	4823	2011	1481	2918	5440	3747	5101	12833	2079	41031
suorat	4720	34148	11688	6331	4600	1098	214	329	669	17	63814
Yhteensä	12927	61055	18167	9865	8795	6806	3966	5435	13512	2097	142625
50-metrin aineisto kantateilla											
+R	5495	11071	2159	1008	725	134	8	1	6	2	20609
-R	294	2020	1157	869	1876	3128	2007	2621	6654	1729	22355
suorat	2209	13854	5404	3469	2973	616	73	44	59	4	28705
Yhteensä	7998	26945	8720	5346	5574	3878	2088	2666	6719	1735	71669
50-metrin aineisto seututeilla											
+R	13954	16455	3293	1935	1916	521	55	43	40	14	38226
-R	994	4593	2154	1961	4854	5953	2763	3149	9735	4210	40366
suorat	4134	19438	7267	4900	4114	603	76	79	94	27	40732
Yhteensä	19082	40486	12714	8796	10884	7077	2894	3271	9869	4251	119324
50-metrin aineisto yhdysteilla											
+R	22304	20376	5668	4022	5525	1512	204	112	204	53	59980
-R	1788	7163	4119	4630	11758	10125	3552	3775	10924	5986	63820
suorat	2614	13827	6816	5681	7006	1141	114	50	113	12	37374
Yhteensä	26706	41366	16603	14333	24289	12778	3870	3937	11241	6051	161174
50-metrin koko aineisto											
+R	49362	69986	15588	9018	9443	2435	272	161	260	70	156595
-R	3674	18599	9441	8941	21406	24646	12069	14646	40146	14004	167572
suorat	13677	81267	31175	20381	18693	3458	477	502	935	60	170625
Yhteensä	66713	169852	56204	38340	49542	30539	12818	15309	41341	14134	494792



Sivukaltevuuspuutteisten %-osuudet tavoitealgoritmin perusteella ja  $\pm 1$  %-yksikköä väljennetyillä raja-arvoilla.



Edellisistä kuvista nähdään, että sivukaltevuuspuutteisten kokonaismäärä vähenee huomattavasti, kun raja-arvoja väljennetään  $\pm 1$  %-yksikköä. Suurin poikkeama syntyy yhdysteillä, joissa tavoitevälin raja-arvojen väljennys tuottaa selvästi enemmän tavoitevälissä olevia havaintoja.

**Tien suuntauksen suunnittelu -ohjeluonnos (Luonnos 2.6.2003)**

**Kaarresäteen ajodynamiikan mukaiset minimiarvot eri nopeusrajoituksilla.**

Sivukaltevuus (%)	Kaarresäde (m)											
	30 km/h			40 km/h			50 km/h			60 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2 <sup>1</sup>	40	40	35	75	75	60	170	135	100	320	220	160
3	35	35	30	70	70	55	160	125	95	300	200	150
4	35	35	30	65	65	55	150	115	90	280	190	140
5	35	35	30	65	65	50	140	110	85	260	180	135
6										240	170	130

Sivukaltevuus (%)	70 km/h			80 km/h			100 km/h			120 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2	460	330	240	640	460	340	1000	900	660	1500	1500	
3	420	300	220	580	420	320	900	800	600	1300	1300	
4	390	280	210	530	390	300	810	720	560	1100	1100	
5	360	260	200	490	360	280	740	650	520	1000	1000	
6	340	240	190	460	340	260	680	600	490			

<sup>1</sup> Voidaan käyttää kaarevilla silloilla päällysteen kuivatuksen salliessa

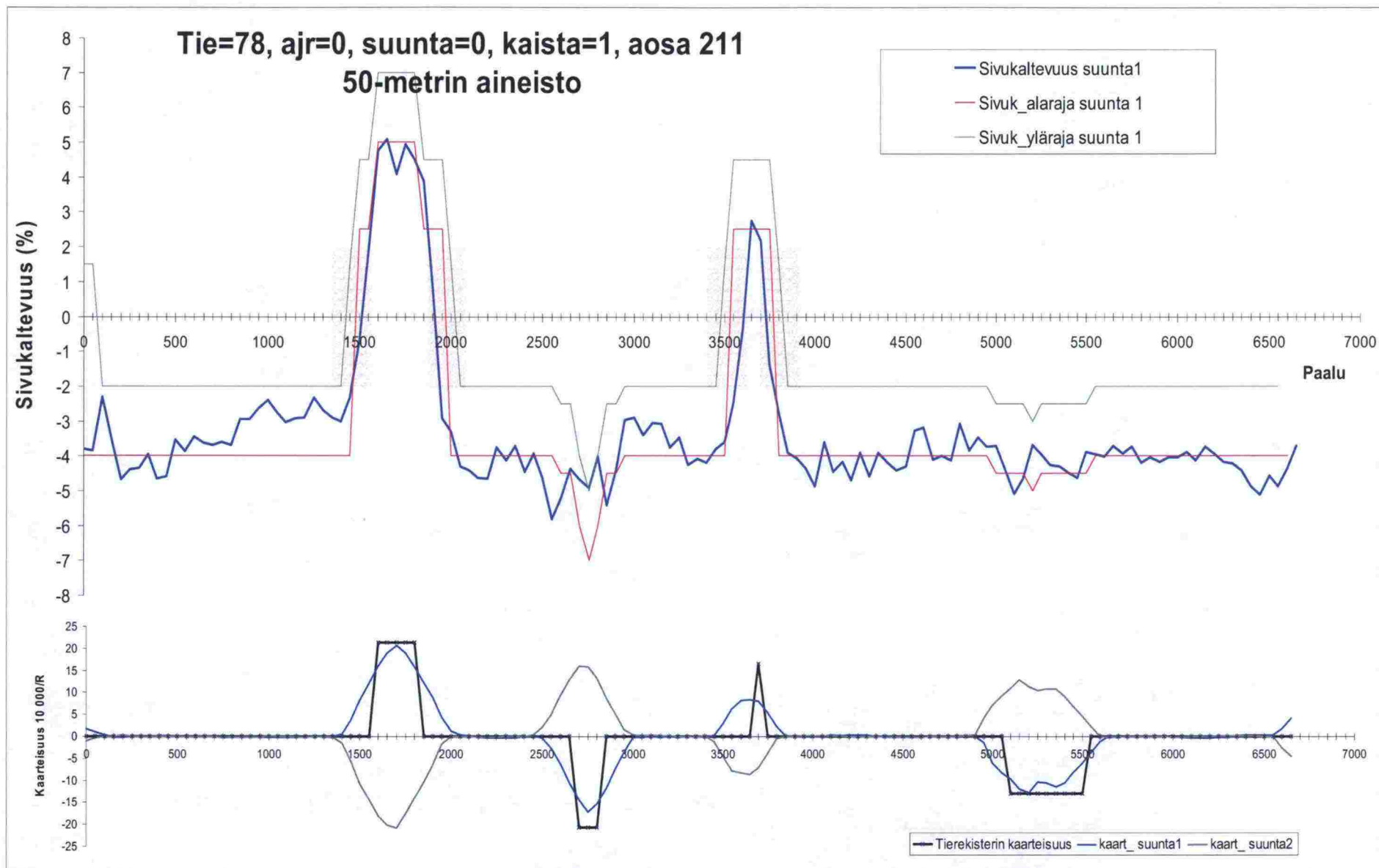
**Kaarresäteen ajodynamiikan mukaiset minimiarvot kaksipuolisesti sivukallistuissa kaarteissa eri nopeusrajoituksilla.**

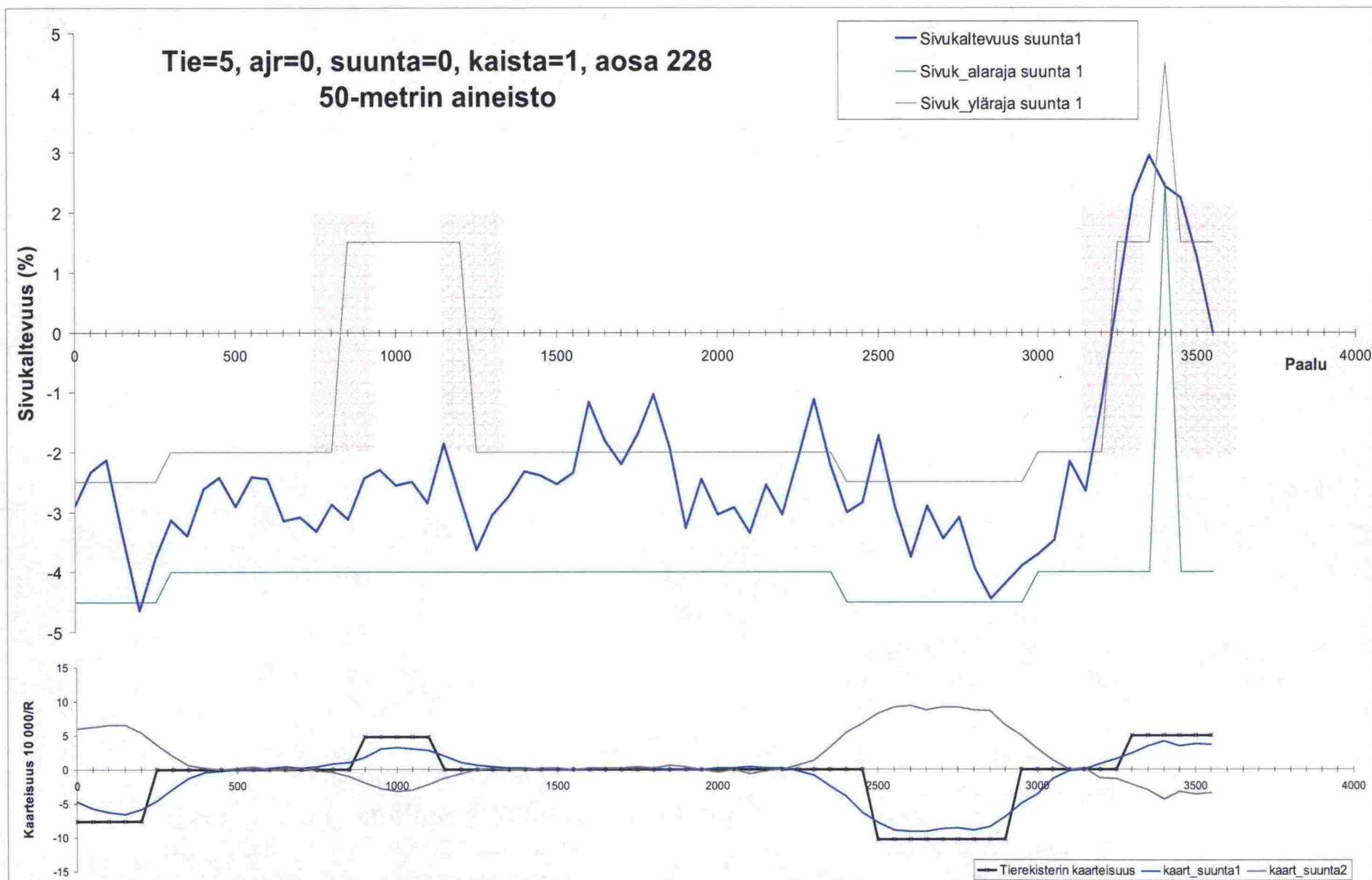
Sivukaltevuus (%)	Kaarresäde (m)											
	30 km/h			40 km/h			50 km/h			60 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2,5	120	120	100	230	250	180	500	400	300	1000	650	500
3	150	150	120	280	300	220	650	500	400	1200	800	600
4	300	300	250	600	600	500	1400	1100	800	2500	1700	1300

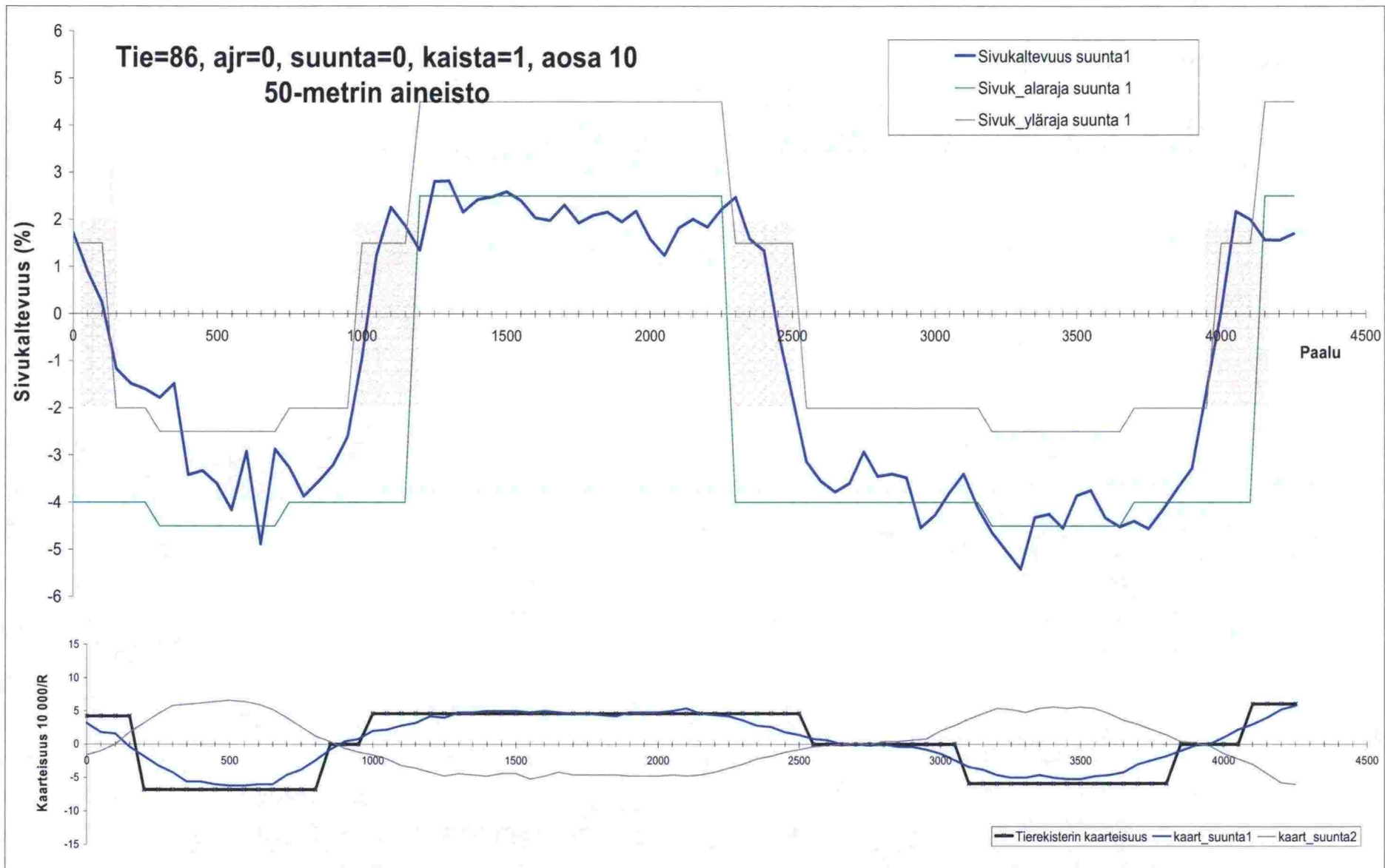
Sivukaltevuus (%)	70 km/h			80 km/h			100 km/h			120 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2,5	1400	1000	750	1900	1400	1000	3000	2600	2000			
3	1700	1200	900	2400	1700	1300	3600	3200	2500			
4	3500	2500	1900	4800	3500	2700	7300	6500	5000			

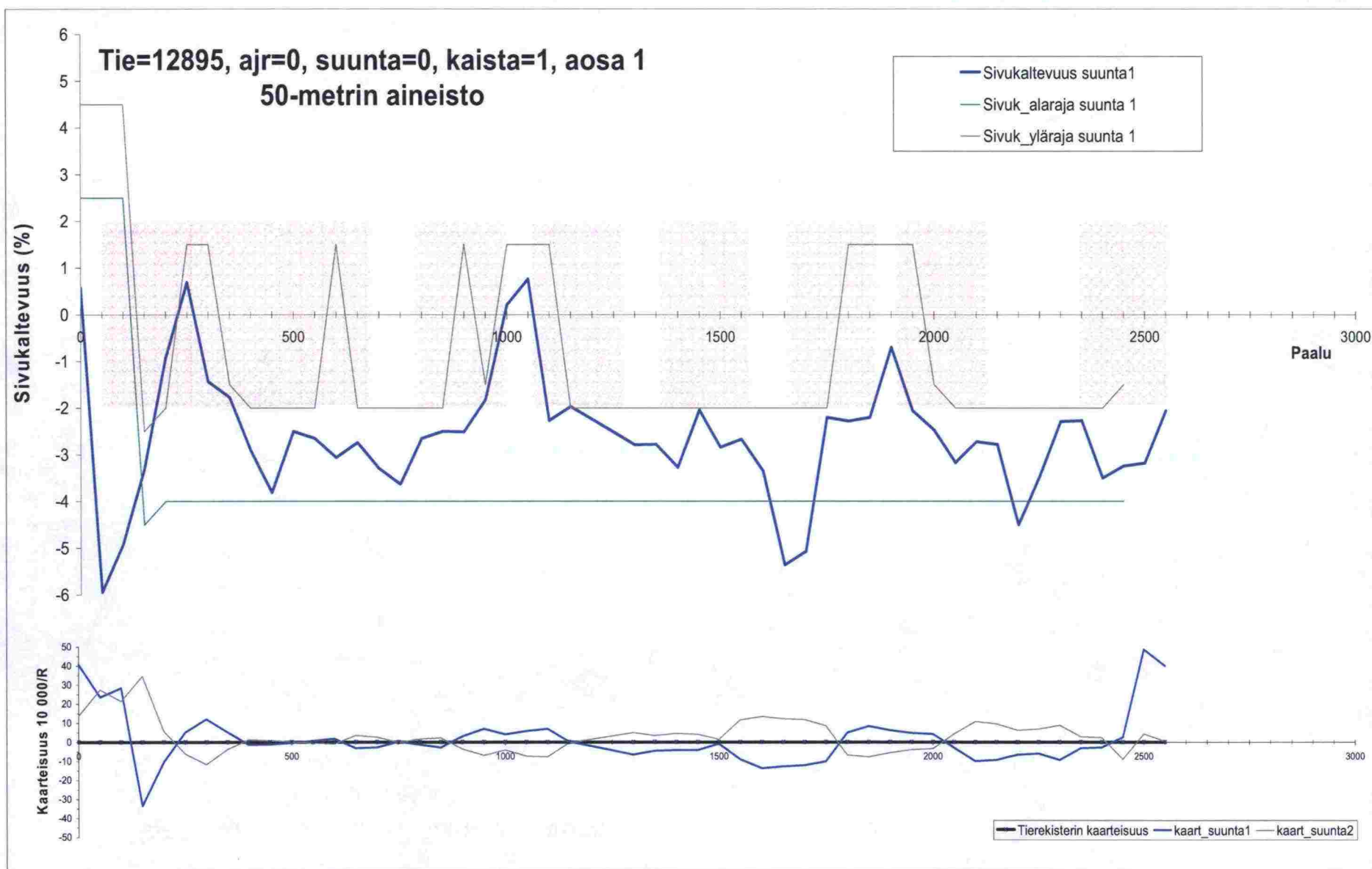




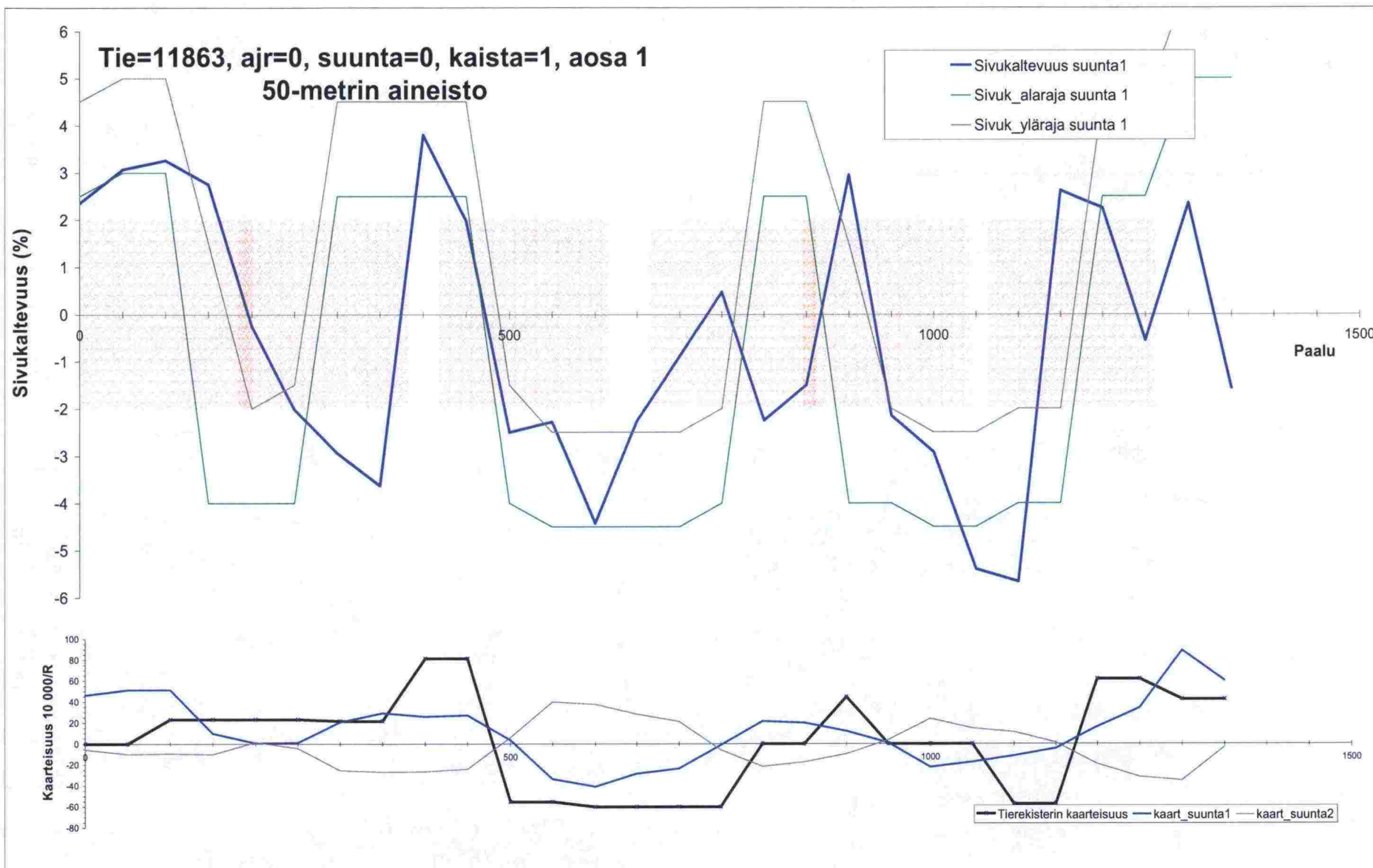


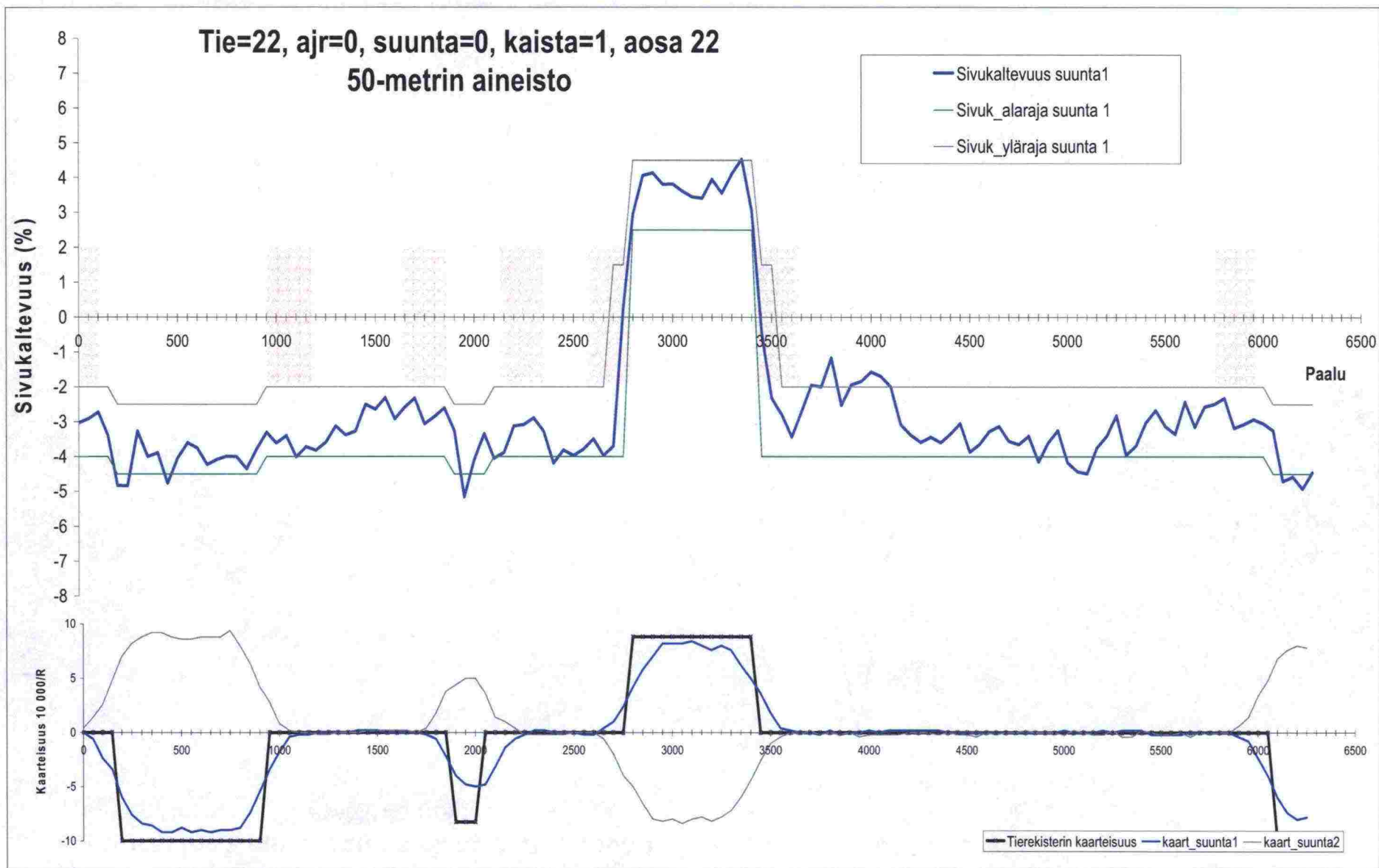




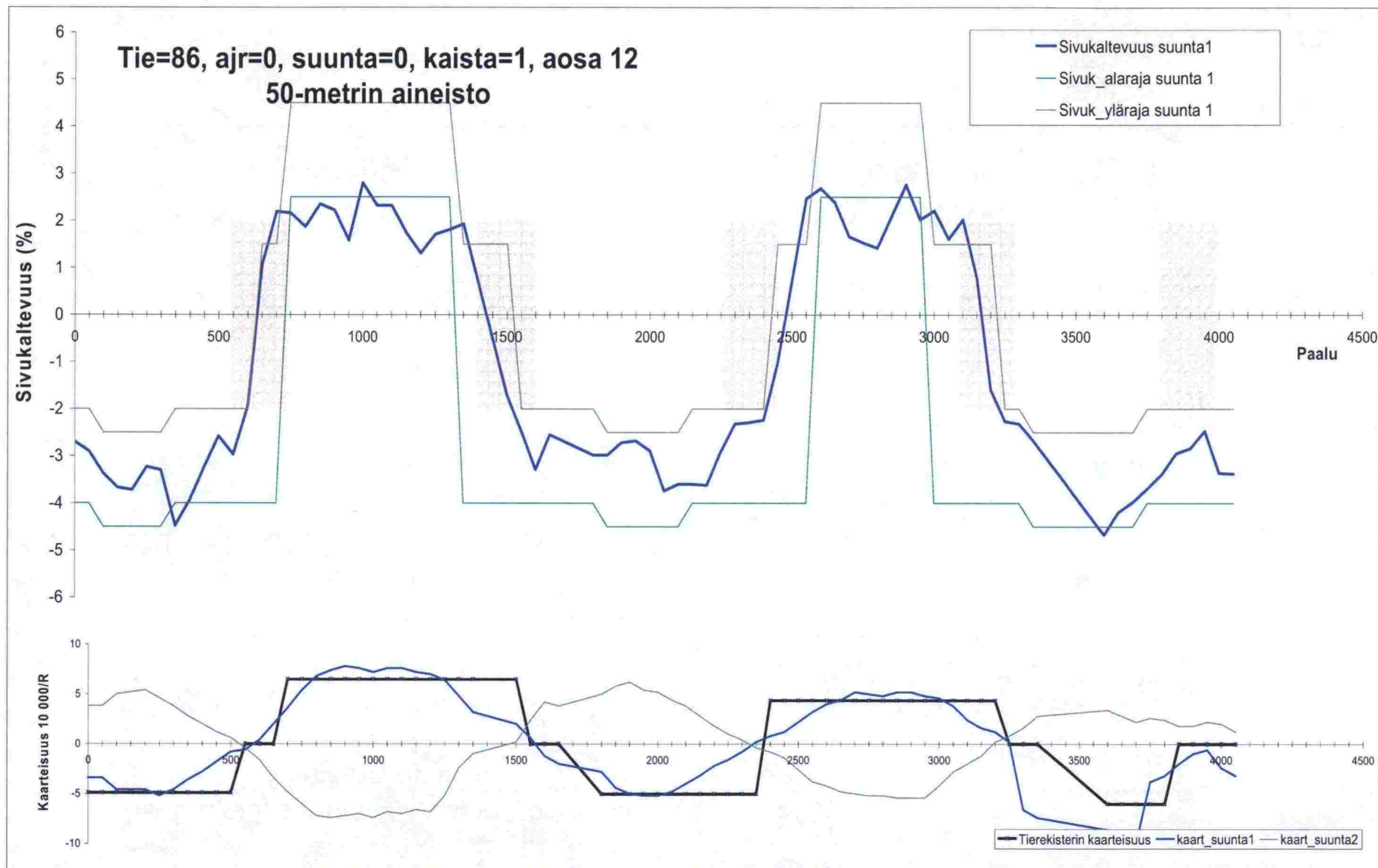


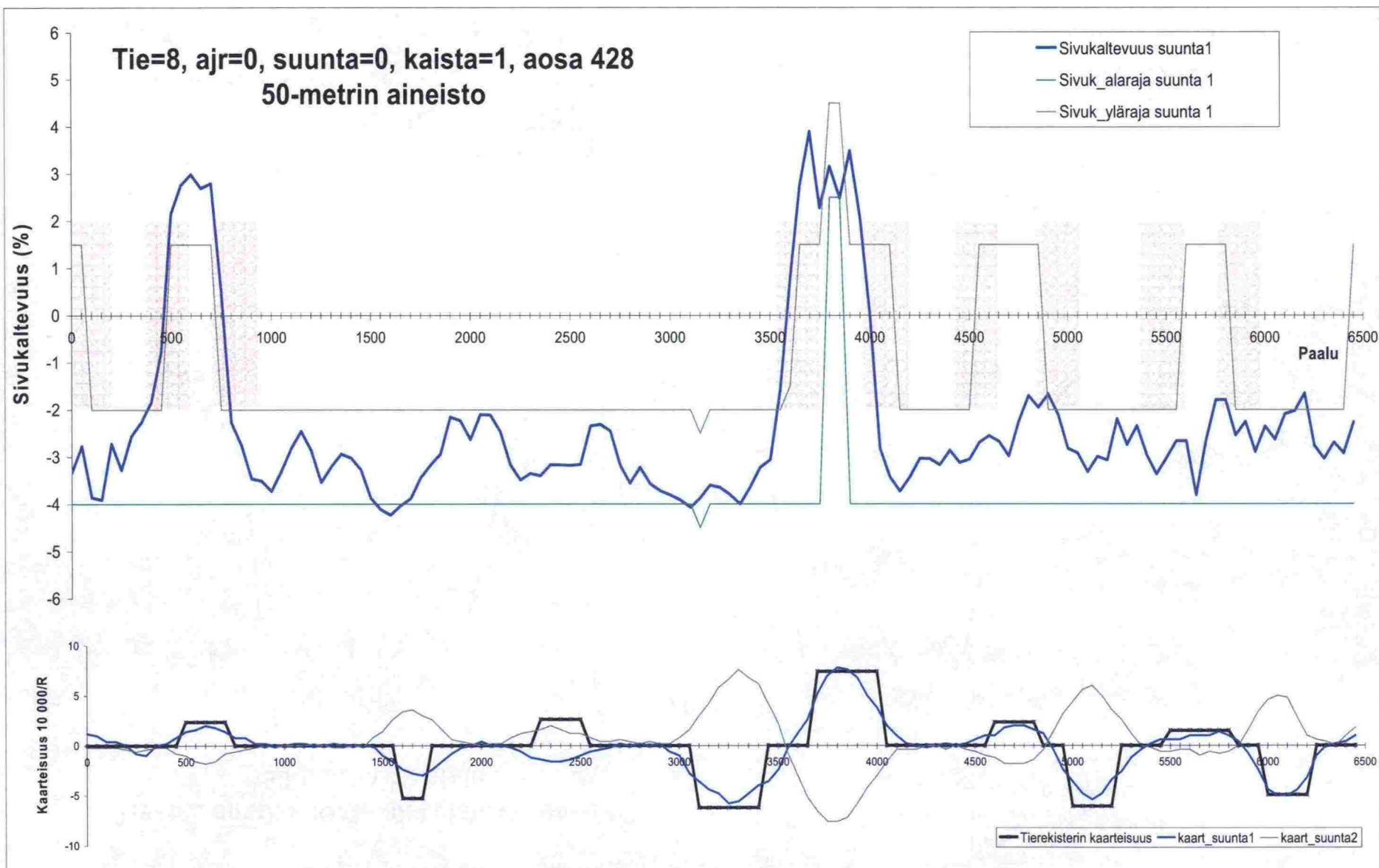




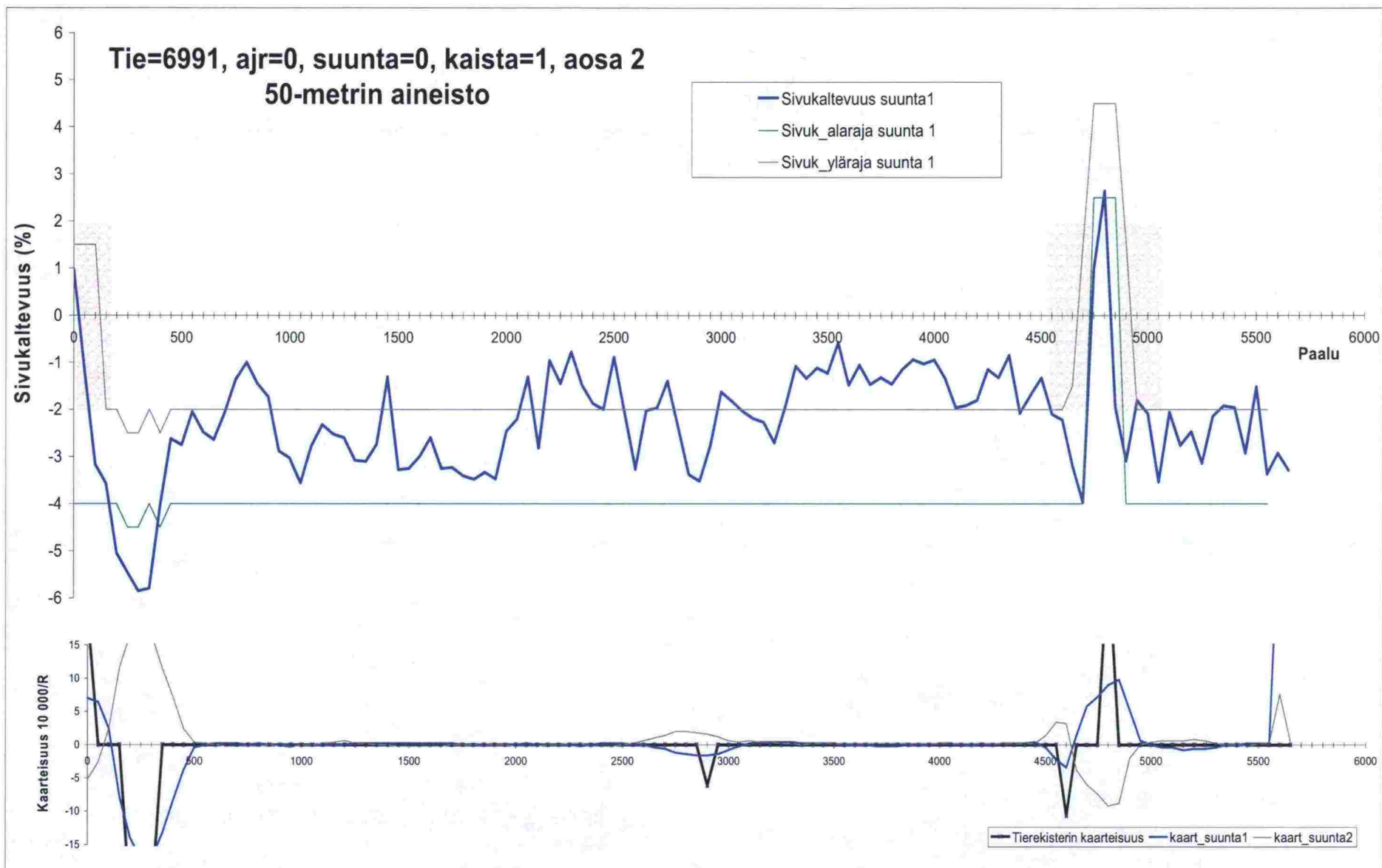


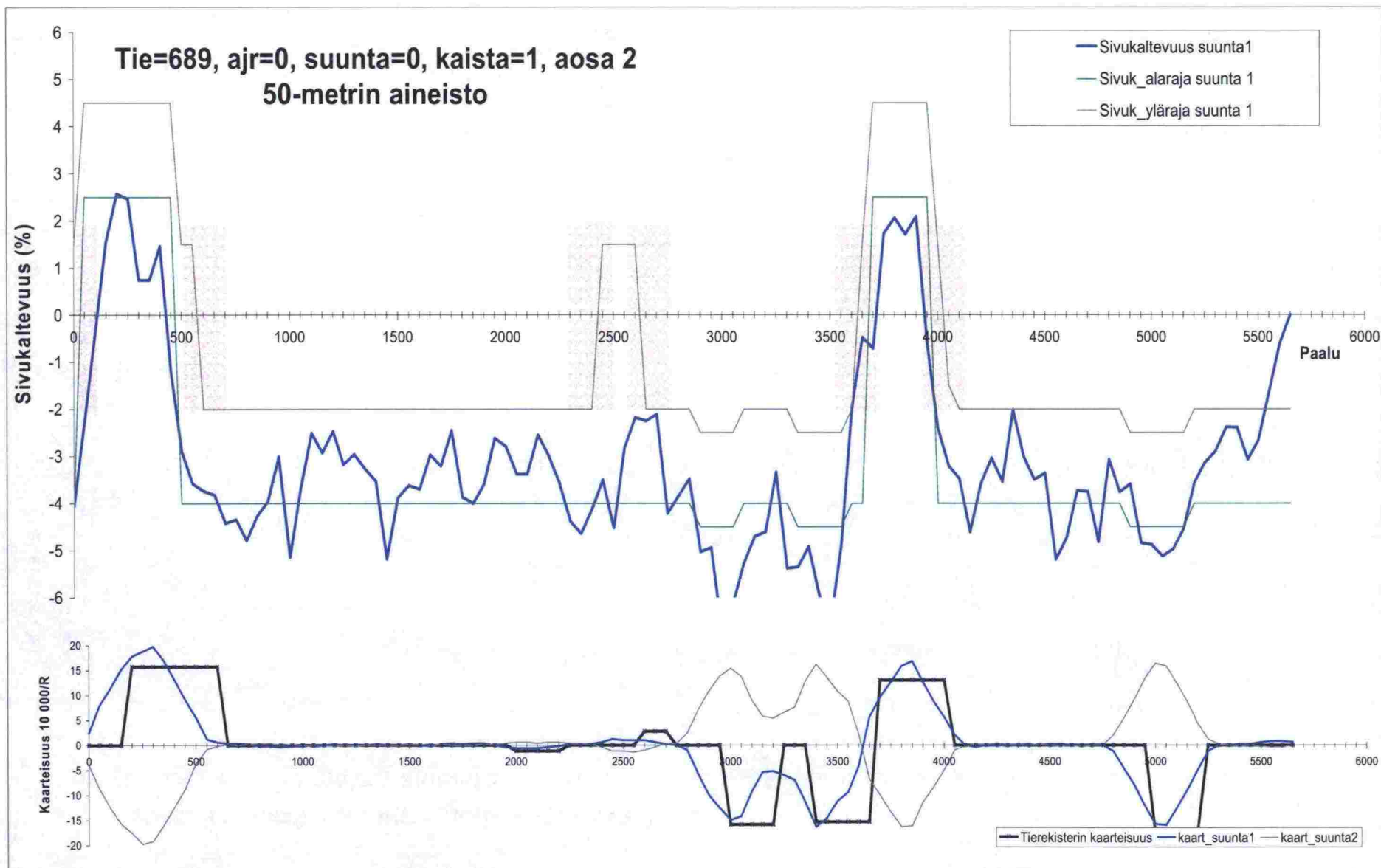














Taulukko 1. Urautumismallitarkastelujen aineistonkuvauksessa käytetty alustava osaverkkojako.

Osaverkko	Talvinopeus (km/h)	Tien leveys (m)	KVL (ajon/vrk)	Ajoratojen lkm (kpl)	Päällysteen ikä (a)
1	60, 80, 100	=>10	3001-	1	=>6
2	80	7 – 9.9	3001-6000	1	=>6
3	80	7 – 9.9	1501-3000	1	kaikki
4	kaikki	kaikki	kaikki	2	kaikki
5	kaikki	6 – 7	<800	kaikki	kaikki
6	kaikki	kaikki	6001-	kaikki	1 – 2

Taulukko 2. Urasyvyyden tunnuslukuja osaverkossa 1.

		Urautumisnopeus (huomioitu kuulamyly- ja kiviaines)										
		N	Mean	Std	P1	P5	P25	P50	P75	P90	P95	P99
Talvinopeus	Geometria											
60	Suora	665	1.26	0.80	0.00	0.23	0.72	1.12	1.61	2.35	2.81	3.84
	Loiva kaarre	181	1.32	0.70	0.18	0.38	0.80	1.17	1.74	2.16	2.59	3.56
	Jyrkkä kaarre	67	0.86	0.62	-0.04	0.07	0.41	0.82	1.12	1.72	2.17	2.84
70	Suora	3	0.98	0.38	0.63	0.63	0.63	0.93	1.38	1.38	1.38	1.38
	Loiva kaarre	5	0.96	0.21	0.69	0.69	0.93	0.94	0.94	1.28	1.28	1.28
	Jyrkkä kaarre	1	0.93		0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
80	Suora	4595	1.22	0.70	0.06	0.33	0.76	1.08	1.54	2.13	2.60	3.41
	Loiva kaarre	117	1.17	0.80	0.29	0.34	0.58	0.84	1.80	2.28	2.58	3.31
	Jyrkkä kaarre	6	0.62	0.36	0.01	0.01	0.55	0.59	0.98	0.98	0.98	0.98
100	Suora	1112	1.33	0.86	0.18	0.31	0.71	1.05	1.84	2.51	3.06	3.75
Kaikki		6752	1.24	0.74	0.06	0.32	0.74	1.07	1.58	2.24	2.69	3.53

Taulukko 3. Urasyvyyden tunnuslukuja osaverkossa 2.

		Urautumisnopeus (huomioitu kuulamyly- ja kiviaines)										
		N	Mean	Std	P1	P5	P25	P50	P75	P90	P95	P99
Talvinopeus	Geometria											
80	Suora	3808	1.18	0.50	0.11	0.47	0.81	1.12	1.47	1.86	2.06	2.49
	Loiva kaarre	195	0.85	0.44	0.12	0.22	0.57	0.82	1.08	1.38	1.72	2.18
	Jyrkkä kaarre	9	0.51	0.35	0.08	0.08	0.25	0.46	0.59	1.09	1.09	1.09
Kaikki		4012	1.16	0.51	0.11	0.45	0.79	1.10	1.46	1.85	2.04	2.47

Taulukko 4. Urasyvyyden tunnuslukuja osaverkossa 3.

		Urautumisnopeus (huomioitu kuulamyly- ja kiviaines)										
		N	Mean	Std	P1	P5	P25	P50	P75	P90	P95	P99
Talvinopeus	Geometria											
80	Suora	17479	0.83	0.97	-0.07	0.14	0.40	0.61	0.92	1.52	2.10	5.21
	Loiva kaarre	1878	0.60	0.70	-0.03	0.06	0.26	0.45	0.72	1.16	1.67	3.48
	Jyrkkä kaarre	151	0.52	0.59	-0.29	0.07	0.20	0.33	0.58	1.09	2.03	2.82
Kaikki		19508	0.80	0.95	-0.07	0.12	0.38	0.59	0.90	1.48	2.06	5.00

Taulukko 5. Urasyvyyden tunnuslukuja osaverkossa 4.

		Urautumisnopeus (huomioitu kuulamyly- ja kiviaines)										
		N	Mean	Std	P1	P5	P25	P50	P75	P90	P95	P99
Talvinopeus	Geometria											
60	Suora	229	1.38	1.94	-0.78	0.08	0.45	0.86	1.49	2.71	4.85	11.10
	Loiva kaarre	102	1.39	1.08	-0.16	0.16	0.63	1.30	1.88	2.71	2.93	5.00
	Jyrkkä kaarre	20	1.46	0.90	0.16	0.37	0.74	1.32	1.90	2.93	3.23	3.48
80	Suora	933	1.33	2.71	-1.85	-1.51	-0.17	0.50	2.36	4.10	4.94	9.93
	Loiva kaarre	20	0.80	0.54	0.13	0.13	0.37	0.72	1.30	1.44	1.88	2.16
	Jyrkkä kaarre	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
100	Suora	373	1.88	3.19	-1.10	-0.28	0.33	0.88	2.13	3.68	10.11	15.45
Kaikki		1685	1.46	2.64	-1.68	-1.01	0.11	0.77	2.10	3.82	5.05	13.61

Taulukko 6. Urasyvyyden tunnuslukuja osaverkoissa 5 ja 6.

		Urautumisnopeus (huomioitu kuulamyly- ja kiviaines)										
		N	Mea n	Std	P1	P5	P25	P50	P75	P90	P95	P99
Talvinopeus	Geometria											
60	Suora	247	5.06	5.36	-1.09	-0.16	1.88	3.75	6.41	11.10	12.82	28.62
	Loiva kaarre	64	5.82	5.28	-0.16	-0.16	1.64	5.16	9.42	11.73	16.58	25.49
	Jyrkkä kaarre	15	5.07	4.59	0.16	0.16	2.42	3.52	5.63	14.07	16.58	16.58
80	Suora	262 8	5.11	5.15	-1.68	-0.59	2.02	4.21	6.56	10.77	16.83	24.23
	Loiva kaarre	36	2.57	1.90	-0.34	0.00	0.67	2.44	3.87	5.30	6.06	6.90
	Jyrkkä kaarre	 1	12.2 9	 0.00	12.2 9	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29
100	Suora	400	4.32	3.70	-1.29	-1.01	1.65	3.68	6.62	9.19	10.94	15.45
Kaikki		339 1	5.00	5.00	-1.68	-0.55	2.02	4.12	6.56	10.48	15.99	24.23



URAUTUMISMALLIN LIITTEET

Osaverkko1 (päällysteen ikä vähintään 3 vuotta, 1-ajoratainen tie, tien leveys 9-11m).

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamylylvarvon ja massatyypin vaikutusta kulumiseen

tieleveys2	1: 9-11m
tieleveys	(Kaikki)
Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1

$$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P.ikä}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

$$\frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{KVL_2}{KVL_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

	talvinopeus Tiedot									
	60 km/h		80 km/h		100 km/h					
	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus suhde 80/60	keskiverto tiepituus 80/60 km	Uranopeus suhde 100/80	keskiverto tiepituus 100/80 km
KVL LKA										
KVL <350	0.39	4.8	0.43	8.3			1.097	6.3		
KVL 350-800	0.42	13.8	0.63	39.9	0.57	42.3	1.516	23.5	0.903	41.1
KVL 801-1500	0.48	20.4	0.51	82.3	0.48	153.0	1.060	41.0	0.945	112.2
KVL 1501-3000	0.72	99.5	0.85	634.3	0.75	200.3	1.168	251.3	0.891	356.4
KVL 3001-6000	1.04	156.1	1.14	1063.0	1.13	219.5	1.104	407.4	0.987	483.0
KVL 6001-12000	1.37	91.8	1.41	365.0	1.69	68.3	1.027	183.0	1.199	157.9
KVL 12001-	1.71	11.7	2.28	29.2	3.50	3.9	1.336	18.5	1.534	10.7
Kaikki yhteensä	1.00	398.1	1.08	2222.1	0.91	687.2	1.085	930.9	0.842	1161.3
Pain. keskiarvo	1.00		1.08		0.91		1.12		0.98	

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h		KVL-eksp	KVL-suhde
	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km		
KVL 540/181	1.053	8.1	1.456	18.2			1.331	26.3	0.262	2.983
KVL 1115/540	1.165	16.8	0.815	57.3	0.853	80.4	0.873	154.5	-0.188	2.065
KVL 2182/1115	1.495	45.0	1.648	228.5	1.553	175.1	1.595	448.6	0.696	1.957
KVL 4245/2182	1.433	124.7	1.355	821.1	1.501	209.7	1.390	1155.5	0.494	1.945
KVL 8345/4245	1.323	119.7	1.230	622.9	1.494	122.4	1.280	865.0	0.365	1.966
KVL 25796/8345	1.244	32.8	1.619	103.3	2.070	16.3	1.587	152.4	0.409	3.091
Pain. keskiarvo	1.363		1.348		1.444				0.442	

Mallissa on otettu huomioon kuulamylylvarvon ja massatyypin vaikutus kulumiseen

tieleveys2	1: 9-11m
tieleveys	(Kaikki)
Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1

$$Uranopeus_{korj} = \frac{(URA - 2) \times 45}{P.ikä \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

$$\frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{KVL_2}{KVL_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

	talvinopeus Tiedot						Uranopeus suhde 80/60	keskiverto tiepituus 80/60 km	Uranopeus suhde 100/80	keskiverto tiepituus 100/80 km
	60 km/h		80 km/h		100 km/h					
	Uranopeus korj ka	Tiepituus km	Uranopeus korj ka	Tiepituus km	Uranopeus korj ka	Tiepituus km				
KVL LKA										
KVL <350										
KVL 350-800										
KVL 801-1500										
KVL 1501-3000	0.52	99.5	0.61	634.3	0.54	200.3	1.169	251.3	0.889	356.4
KVL 3001-6000	1.09	156.1	1.20	1063.0	1.19	219.5	1.104	407.4	0.987	483.0
KVL 6001-12000	2.14	91.8	2.37	365.0	3.10	68.3	1.105	183.0	1.310	157.9
KVL 12001-	3.14	11.7	4.19	29.2	6.43	3.9	1.336	18.5	1.534	10.7
Kaikki yhteensä	1.20	398.1	1.23	2222.1	0.97	687.2	1.020	860.2	0.789	1008.0
Pain. keskiarvo	1.20		1.23		0.97		1.13		1.01	

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h		KVL-eksp	KVL-suhde
	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km		
KVL 540/181										2.983
KVL 1115/540										2.065
KVL 2182/1115										1.957
KVL 4245/2182	2.083	124.7	1.968	821.1	2.186	209.7	2.020	1155.5	1.057	1.945
KVL 8345/4245	1.966	119.7	1.967	622.9	2.611	122.4	2.058	865.0	1.068	1.966
KVL 25796/8345	1.463	32.8	1.769	103.3	2.070	16.3	1.735	152	0.488	3.091
Pain. keskiarvo	1.959		1.955		2.330				1.021	

Osaverkko2 (päällysteen ikä vähintään 3 vuotta, 1-ajoratainen tie, talvinopeus 80 km/h).

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyypin vaikutusta kulumiseen

Päällysteen ikä	2: 3- vuotta	$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P.ikä}$		$Keskierto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$	$Uranopeussuhde = Uranopeus2 / Uranopeus1$
Ajoratojen LKM	1				
talvinopeus	80				

	tieveys Tiedot													
	1: alle 6.5 m (5.9m)		2: 6.5 - 7.4m (6.8m)		3: 7.5 - 8.4m (7.9)		4: 8.5 - 9.4m (8.8m)		5: 9.5 - 10.4m (9.9)		6: 10.5 - 12.4m (10)		7: 12.5 - ... (13.6)	
	Uranopeus ka	Summa km	Uranopeus ka	Summa km	Uranopeus ka	Summa km	Uranopeus ka	Summa km	Uranopeus ka	Summa km	Uranopeus ka	Summa km	Uranopeus ka	Summa km
KVL LKA														
KVL<350	0.44	1515.1	0.48	2460.4	0.58	136.7	0.33	6.4	0.49	5.6				
KVL 350-800	0.37	246.0	0.41	2185.1	0.43	632.0	0.51	51.6	0.48	4.2	0.46	5.1	0.72	0.4
KVL 801-1500	0.47	34.6	0.46	908.1	0.52	1262.2	0.56	74.1	0.50	41.6	0.81	3.4	0.41	9.1
KVL 1501-3000	0.38	9.0	0.71	193.0	0.80	1708.7	0.87	309.2	0.85	314.5	0.74	126.4	0.84	10.0
KVL 3001-6000			1.11	18.4	1.09	374.9	1.28	283.7	1.16	586.5	1.04	307.8	0.99	56.6
KVL 6001-12000					1.36	19.7	1.30	71.4	1.44	223.8	1.42	116.9	1.17	75.2
KVL 12001-							1.83	3.4	2.39	17.0	1.72	19.3	1.88	31.7
Kaikki yhteensä	0.43	1804.7	0.46	5765.0	0.68	4134.2	1.00	799.9	1.12	1193.3	1.07	579.0	1.18	183.1

	Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde	
	Tielev (6.5-7.4)/ 6.5	Kesiverto tiepituus km	Tielev (7.5-8.4)/ (6.5-7.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (8.5-9.4)/ (8.5-9.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (9.5-10.4)/ (9.5-10.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (10.5-12.4)/ (10.5-12.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (12.5-)/ (10.5-)	Kesiverto tiepituus km
KVL LKA												
KVL<350	1.077	1930.8	1.211	579.9	0.574	29.7	1.488	6.0				
KVL 350-800	1.112	733.2	1.055	1175.2	1.180	180.6	0.941	14.8	0.947	4.7	1.583	1.4
KVL 801-1500	0.990	177.1	1.129	1070.6	1.070	305.9	0.898	55.6	1.610	11.9	0.503	5.6
KVL 1501-3000	1.880	41.7	1.126	574.2	1.084	726.9	0.985	311.9	0.871	199.4	1.130	35.6
KVL 3001-6000			0.981	83.1	1.177	326.1	0.907	407.9	0.897	424.9	0.953	131.9
KVL 6001-12000					0.954	37.5	1.110	126.4	0.989	161.8	0.821	93.8
KVL 12001-							1.311	7.6	0.717	18.1	1.095	24.8
Kaikki yhteensä	1.061	2882.8	1.479	3482.9	1.470	1606.8	1.121	930.1	0.953	820.8	1.104	293.2
Painot keskiarv	1.09		1.11		1.10		0.97		0.92		0.94	

Mallissa on otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyypin vaikutus kulumiseen

Päällysteen ikä	2: 3- vuotta	$Uranopeus_{korj} = \frac{(URA - 2) \times 45}{P.ikä \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}$		$Keskierto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$	$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$
Ajoratojen LKM	1				
talvinopeus	80				

	tieveys Tiedot													
	1: alle 6.5 m		2: 6.5 - 7.4m		3: 7.5 - 8.4m		4: 8.5 - 9.4m		5: 9.5 - 10.4m		6: 10.5 - 12.4m		7: 12.5 -	
	Uranopeus korj ka	Summa km	Uranopeus korj ka	Summa km	Uranopeus korj ka	Summa km	Uranopeus korj ka	Summa km	Uranopeus korj ka	Summa km	Uranopeus korj ka	Summa km	Uranopeus korj ka	Summa km
KVL LKA														
KVL<350														
KVL 350-800														
KVL 801-1500														
KVL 1501-3000	0.27	9.0	0.51	193.0	0.58	1708.7	0.63	309.2	0.62	314.5	0.54	126.4	0.61	10.0
KVL 3001-6000			1.16	18.4	1.14	374.9	1.35	283.7	1.22	586.5	1.09	307.8	1.04	56.6
KVL 6001-12000					2.29	19.7	2.18	71.4	2.42	223.8	2.40	116.9	1.97	75.2
KVL 12001-							3.36	3.4	4.40	17.0	3.16	19.3	3.46	31.7
Kaikki yhteensä	0.27	1804.7	0.57	5765.0	0.69	4134.2	1.10	799.9	1.29	1193.3	1.24	579.0	1.50	183.1

	Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde	
	Tielev (6.5-7.4)/ 6.5	Kesiverto tiepituus km	Tielev (7.5-8.4)/ (6.5-7.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (8.5-9.4)/ (8.5-9.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (9.5-10.4)/ (9.5-10.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (10.5-12.4)/ (10.5-12.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (12.5-)/ (10.5-)	Kesiverto tiepituus km
KVL LKA												
KVL<350												
KVL 350-800												
KVL 801-1500	1.899	41.7	1.127	574.2	1.084	726.9	0.985	311.9	0.871	199.4	1.130	35.6
KVL 1501-3000			0.985	83.1	1.177	326.1	0.907	407.9	0.896	424.9	0.953	131.9
KVL 3001-6000					0.954	37.5	1.110	126.4	0.989	161.8	0.821	93.8
KVL 6001-12000							1.311	7.6	0.717	18.1	1.095	24.8
KVL 12001-									0.717	18.1	1.095	24.8
Kaikki yhteensä	2.107	41.7	1.221	657.2	1.586	1090.6	1.172	853.8	0.962	804.2	1.210	286.1
Painot keskiarv	1.90		1.11		1.11		0.97		0.90		0.94	
Leveyssuhde	1.162		1.155		1.120		1.118		1.088		1.267	
Leveyseksp.	4.269		0.721		0.902		-0.283		-1.191		-0.244	



Osaverkko3 (päällysteen ikä vähintään 3 vuotta, 1-ajoratainen tie, talvi-  
nopeus 100 km/h).

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamyllärvon ja massatyyppin vaikutusta kulumiseen

Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1
talvinopeus	100

$$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P.ikä}$$

$$Keski\text{v}erto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

	tieleveys Tiedot		2: 6.5 - 7.4m (6.9m)		3: 7.5 - 8.4m (8.0m)		4: 8.5 - 9.4m (9.0m)		5: 9.5 - 10.4m (9.7)		6: 10.5 - 12.4m (10.7m)		7: 12.5 - ... (13.8m)	
	Uranopeus	Tiepituus	ka	km	Uranopeus	Tiepituus	ka	km	Uranopeus	Tiepituus	ka	km	Uranopeus	Tiepituus
KVL LKA														
KVL 350-800	0.54	78.2			0.30	43.8	0.57	42.3						
KVL 801-1500	0.54	126.2			0.54	320.7	0.54	93.1	0.39	38.0	0.43	23.0	0.09	2.5
KVL 1501-3000					0.92	162.6	0.67	30.4	0.74	71.0	0.76	103.6	0.54	5.8
KVL 3001-6000					1.59	38.0	1.26	46.5	1.29	87.3	0.96	111.3	0.77	14.9
KVL 6001-12000					2.17	5.1	1.97	28.4	1.61	30.3	1.26	14.6	1.06	71.8
KVL 12001-							3.92	2.5	2.74	1.4	0.88	1.5	1.70	5.7
Kaikki yhteensä	0.54	204.4			0.71	570.2	0.90	243.1	1.02	228.0	0.85	254.0	1.00	100.7

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien keskimääräisten KVL:n suhde	Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto		Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto		Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto		Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto	
	Tielev (7.5-8.4)/ (6.5-7.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (8.5-9.4)/ (7.5-8.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (9.5-10.4)/ (8.5-9.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (10.5-12.4)/ (9.5-10.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (12.5-13.8)/ (10.5-12.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (13.8-15.2)/ (12.5-13.8)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (15.2-16.6)/ (13.8-15.2)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (16.6-18.0)/ (15.2-16.6)	Kesiverto tiepituus km
KVL 540/181	0.558	58.5	1.879	43.0	0.732	59.5	1.104	29.6	0.198	7.6	0.707	24.4	0.802	40.8	0.841	32.3
KVL 1115/540	0.997	201.2	0.996	172.8	1.095	46.4	1.037	85.8	0.703	24.4	0.802	40.8	0.841	32.3	0.841	32.3
KVL 2182/1115			0.733	70.3	1.021	63.7	0.748	98.6	0.802	40.8	0.841	32.3	0.841	32.3	0.841	32.3
KVL 4245/2182			0.795	42.0	0.820	29.4	0.779	21.0	0.841	32.3	0.841	32.3	0.841	32.3	0.841	32.3
KVL 8345/4245			0.908	12.0	0.698	1.9	0.321	1.4	1.942	2.9	1.942	2.9	1.942	2.9	1.942	2.9
KVL 25796/8345																
Kaikki yhteensä	1.318	259.7	1.264	340.1	1.133	200.8	0.834	236.4	1.172	108.1	0.78		0.78		0.78	
Pain. keskiarvo	0.90		1.03		0.92		0.90		0.78							

Mallissa on otettu huomioon kuulamyllärvon ja massatyyppin vaikutus kulumiseen

Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1
talvinopeus	100

$$Uranopeus\_korj = \frac{(URA - 2) \times 45}{P.ikä \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}$$

$$Keski\text{v}erto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

	tieleveys Tiedot		2: 6.5 - 7.4m (6.9m)		3: 7.5 - 8.4m (8.0m)		4: 8.5 - 9.4m (9.0m)		5: 9.5 - 10.4m (9.7)		6: 10.5 - 12.4m (10.7m)		7: 12.5 - ... (13.8m)	
	Uranopeus_korj	Tiepituus	ka	km	Uranopeus_korj	Tiepituus	ka	km	Uranopeus_korj	Tiepituus	ka	km	Uranopeus_korj	Tiepituus
KVL LKA														
KVL 350-800														
KVL 801-1500	0.28	126.2			0.28	320.7	0.28	93.1	0.21	38.0	0.23	23.0	0.05	2.5
KVL 1501-3000					0.66	162.6	0.49	30.4	0.53	71.0	0.55	103.6	0.39	5.8
KVL 3001-6000					1.67	38.0	1.33	46.5	1.35	87.3	1.01	111.3	0.81	14.9
KVL 6001-12000					3.99	5.1	3.62	28.4	2.97	30.3	2.31	14.6	1.94	71.8
KVL 12001-							7.21	2.5	5.03	1.4	1.61	1.5	3.13	5.7
Kaikki yhteensä	0.28	204.4			0.54	570.2	1.04	243.1	1.12	228.0	0.83	254.0	1.62	100.7

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien keskimääräisten KVL:n suhde	Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto		Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto		Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto		Uranopeus suhde		Keski\text{v}erto	
	Tielev (7.5-8.4)/ (6.5-7.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (8.5-9.4)/ (7.5-8.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (9.5-10.4)/ (8.5-9.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (10.5-12.4)/ (9.5-10.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (12.5-13.8)/ (10.5-12.4)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (13.8-15.2)/ (12.5-13.8)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (15.2-16.6)/ (13.8-15.2)	Kesiverto tiepituus km	Tielev (16.6-18.0)/ (15.2-16.6)	Kesiverto tiepituus km
KVL 540/181			0.997	172.8	0.732	59.5	1.105	29.6	0.198	7.6	0.707	24.4	0.802	40.8	0.841	32.3
KVL 1115/540	0.997	201.2	0.997	172.8	1.095	46.4	1.031	85.8	0.703	24.4	0.802	40.8	0.841	32.3	0.841	32.3
KVL 2182/1115			0.733	70.3	1.021	63.7	0.748	98.6	0.802	40.8	0.841	32.3	0.841	32.3	0.841	32.3
KVL 4245/2182			0.795	42.0	0.820	29.4	0.779	21.0	0.841	32.3	0.841	32.3	0.841	32.3	0.841	32.3
KVL 8345/4245			0.908	12.0	0.698	1.9	0.321	1.4	1.942	2.9	1.942	2.9	1.942	2.9	1.942	2.9
KVL 25796/8345																
Kaikki yhteensä	1.885	201.2	1.935	297.1	1.078	200.8	0.739	236.4	1.957	108.1	0.78		0.78		0.78	
Pain. keskiarvo	1.00		0.90		0.92		0.90		0.78							
Leveyssuhde	1.158		1.122		1.087		1.094		1.294							
Leveyseksksp.	-0.020		-0.892		-1.005		-1.229		-0.966							

Osaverkko4 (2-ajoratainen tie, tien leveys 9-11m). Tien KVL:n sijaan on käytetty kaistan KVL:ää.

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyyppin vaikutusta kulumiseen

tieleveys2

1: 9-11m

tieleveys

(Kaikki)

Päälysteen ikä

(Kaikki)

Ajoratojen LKM

2

$$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P_{ikä}}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

Uranopeussuhde =

Uranopeus2 / Uranopeus1

$$\frac{Uranopeus\_2}{Uranopeus\_1} = \left( \frac{KVL\_2}{KVL\_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

talvinopeus		Tiedot		60 km/h		80 km/h		100 km/h		Uranopeus keskiverto		Uranopeus keskiverto	
				60 km/h		80 km/h		100 km/h		80/60		100/80	
KVL	LKA	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	suhde 80/60	km	suhde 100/80	km
KVL <350		0.43	1.2	0.75	7.2	0.27	8.7	0.318	16.1	1.686	14.8		
KVL 350-800		0.50	10.4	0.16	25.1	0.59	60.4	0.748	19.3	0.928	41.2		
KVL 801-1500		0.85	13.3	0.64	28.1	0.93	47.2	1.091	34.6	1.127	51.8		
KVL 1501-3000		0.76	21.0	0.83	56.9	1.59	98.8	1.509	39.1	0.924	95.5		
KVL 3001-6000		1.14	16.6	1.72	92.3	3.30	77.1	1.299	41.4	1.479	75.8		
KVL 6001-12000		1.72	23.0	2.23	74.6	2.45	61.1	2.958	9.6	0.768	64.9		
KVL 12001-		1.08	1.3	3.20	69.0								
Kaikki yhteensä		1.07	86.8	1.75	353.2	1.82	353.4	1.091	160.2	1.127	344.1		
Pain. keskiarvo		0.76		0.83		0.93		0.36		1.08			

60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h				
Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km	KVL-eksp	KVL-suhde
KVL 540/181	1.152	3.6	4.036	26.6	2.222	23.0	1.152	3.6	0.130	2.983
KVL 1115/540	1.715	11.8	1.304	40.0	1.583	53.4	2.911	61.3	1.474	2.065
KVL 2182/1115	0.893	16.7	2.078	72.5	1.704	68.3	1.377	110.1	0.476	1.957
KVL 4245/2182	1.503	18.6	1.295	83.0	2.073	87.3	1.851	159.4	0.925	1.945
KVL 8345/4245	1.504	19.5	1.433	71.7	0.744	68.7	1.675	189.8	0.763	1.966
KVL 25796/8345	0.630	5.6	1.433		0.744	68.7	1.078	145.9	0.067	3.091
Pain. keskiarvo	1.321		1.771		1.610				0.664	

Mallissa on otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyyppin vaikutus kulumiseen

tieleveys2

1: 9-11m

tieleveys

(Kaikki)

Päälysteen ikä

(Kaikki)

Ajoratojen LKM

2

$$Uranopeus\_korj = \frac{(URA - 2) \times 45}{P_{ikä} \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

Uranopeussuhde =

Uranopeus2 / Uranopeus1

$$\frac{Uranopeus\_2}{Uranopeus\_1} = \left( \frac{KVL\_2}{KVL\_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

talvinopeus		Tiedot		60 km/h		80 km/h		100 km/h		Uranopeus keskiverto		Uranopeus keskiverto	
				60 km/h		80 km/h		100 km/h		80/60		100/80	
KVL	LKA	Uranopeus korj ka	Tiepituus km	Uranopeus korj ka	Tiepituus km	Uranopeus korj ka	Tiepituus km	Uranopeus korj ka	Tiepituus km	suhde 80/60	km	suhde 100/80	km
KVL <350		0.45	1.2	-0.25	7.2	0.48	8.7	-0.543	3.0	0.092	16.1	8.180	14.8
KVL 350-800		0.63	10.4	0.06	25.1	0.76	60.4	0.626	19.3	1.708	41.2		
KVL 801-1500		0.71	13.3	0.45	28.1	2.06	47.2	2.125	34.6	1.362	51.8		
KVL 1501-3000		0.71	21.0	1.51	56.9	4.74	98.8	2.025	39.1	1.363	95.5		
KVL 3001-6000		1.72	16.6	3.48	92.3								
KVL 6001-12000			23.0		74.6								
KVL 12001-			1.3		69.0								
Kaikki yhteensä		1.05	86.8	1.68	353.2	2.64	353.4	2.125	112.1	1.362	203.4		
Pain. keskiarvo		0.71		1.51		2.06		0.76		1.93			

60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h				
Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde f (KVL)	keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km	KVL-eksp	KVL-suhde
KVL 540/181	1.394	3.6	7.641	26.6	1.595	23.0	1.394	3.6	0.304	2.983
KVL 1115/540	1.128	11.8	3.399	40.0	2.712	53.4	4.125	61.3	1.955	2.065
KVL 2182/1115	1.001	16.7	3.399	40.0	2.712	53.4	2.702	110.1	1.480	1.957
KVL 4245/2182	2.411	18.6	2.298	72.5	2.300	68.3	2.312	159.4	1.259	1.945
KVL 8345/4245										1.966
KVL 25796/8345										3.091
Pain. keskiarvo	1.577		3.635		2.340				1.449	



Osaverkko5 (2-ajoratainen tie, tien leveys 11.1 - 13m). Tien KVL:n si-  
jaan on käytetty kaistan KVL:ää.

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyyppin vaikutusta kulumiseen

tieleveys2	2: 11.1-13m
tieleveys	(Kaikki)
Päälysteen ikä	(Kaikki)
Ajoratojen LKM	2

$$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P.ikä}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

$$\frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{KVL_2}{KVL_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

		talvinopeus Tiedot						Urano-peus keskiverto tiepituus 80/60 km		Urano-peus keskiverto tiepituus 100/80 km	
		60 km/h		80 km/h		100 km/h					
KVL_LKA	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	Uranopeus ka	Tiepituus km	suhte 80/60	km	suhte 100/80	km	
KVL <350			2.24	19.8	0.00	1.3					
KVL 350-800	0.45	0.2	0.08	36.0	0.24	10.5			3.046	19.5	
KVL 801-1500	0.51	2.2	0.46	54.7	0.29	75.7	0.909	11.0	0.622	64.4	
KVL 1501-3000			0.67	70.0	0.72	146.3			1.080	101.2	
KVL 3001-6000	2.32	0.6	1.60	102.5	1.90	114.0	0.689	7.8	1.188	108.1	
KVL 6001-12000	1.06	5.0	2.43	93.4	1.87	146.3	2.294	21.7	0.767	116.9	
KVL 12001-	2.57	1.8	3.02	53.4	3.29	26.4	1.173	9.7	1.088	37.6	
Kaikki yhteensä	1.28	9.8	1.56	429.9	1.36	520.6	1.219	50.2	0.870	447.6	
Pain. keskiarvo	1.27		1.56		1.36		1.52		1.04		

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h		KVL-eksp	KVL-suhde
	Uranopeus suhde (KVL)	f keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde (KVL)	f keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde (KVL)	f keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km		
KVL 540/181			0.035	26.7			0.035	26.7	-3.062	2.983
KVL 1115/540			5.884	44.4	1.201	28.3	4.062	72.6	1.933	2.065
KVL 2182/1115			1.435	61.9	2.493	105.2	2.101	167.2	1.106	1.957
KVL 4245/2182			2.401	84.7	2.642	129.2	2.546	213.9	1.404	1.945
KVL 8345/4245	0.457	1.7	1.520	97.9	0.981	129.2	1.208	228.7	0.279	1.966
KVL 25796/8345	2.426	3.0	1.240	70.6	1.760	62.2	1.504	135.8	0.362	3.091
Pain. keskiarvo	1.700		2.047		1.924				0.777	

Mallissa on otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyyppin vaikutus kulumiseen

tieleveys2	2: 11.1-13m
tieleveys	(Kaikki)
Päälysteen ikä	(Kaikki)
Ajoratojen LKM	2

$$Uranopeus_{korj} = \frac{(URA - 2) \times 45}{P.ikä \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}$$

$$Keskiverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

$$\frac{Uranopeus_2}{Uranopeus_1} = \left( \frac{KVL_2}{KVL_1} \right)^{KVL_{eksp}}$$

	talvinopeus Tiedot						Urano-peus keskiverto tiepituus 80/60 km		Urano-peus keskiverto tiepituus 100/80 km	
	60 km/h		80 km/h		100 km/h					
	Uranopeus_kor j ka Tiepituus km		Uranopeus_kor j ka Tiepituus km		Uranopeus_kor j ka Tiepituus km					
KVL_LKA							suhde 80/60		suhde 100/80	
KVL <350				19.8	-0.08	1.3				
KVL 350-800	0.70	0.2	-0.56	36.0	0.31	10.5			-0.556	19.5
KVL 801-1500		2.2	0.75	54.7	0.32	75.7			0.429	64.4
KVL 1501-3000			1.07	70.0	0.95	146.3			0.886	101.2
KVL 3001-6000	6.25	0.6	2.75	102.5	2.18	114.0			0.791	108.1
KVL 6001-12000		5.0		93.4		146.3				
KVL 12001-		1.8		53.4		26.4				
Kaikki yhteensä	3.48	9.8	1.35	429.9	0.98	520.6	0.387	0.0	0.886	293.2
Pain. keskiarvo	0.00		1.07		0.95		#JAKO/0!		0.65	

Yläpuolella esitettyjen KVL luokkien suhde	60 km/h		80 km/h		100 km/h		60-100 km/h		KVL-eksp	KVL-suhde
	Uranopeus suhde (KVL)	f keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde (KVL)	f keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde (KVL)	f keskiverto tiepituus km	Uranopeus suhde pain.ka	Tiepituus km		
KVL 540/181										2.983
KVL 1115/540			-1.335	44.4	1.029	28.3	-0.415			2.065
KVL 2182/1115			1.423	61.9	2.941	105.2	2.379	167.2	1.291	1.957
KVL 4245/2182			2.578	84.7	2.303	129.2	2.412	213.9	1.323	1.945
KVL 8345/4245										1.966
KVL 25796/8345										3.091
Pain. keskiarvo	#JAKO/0!		1.295		2.422				1.309	

Osaverkko6 (päällysteen ikä vähintään 3 vuotta, 1-ajoratainen tie, talvi-nopeus rajaamaton).

Mallissa ei ole otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyypin vaikutusta kulumiseen

Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1
talvinopeus	(Kaikki)

$$Uranopeus = \frac{(URA - 2)}{P.ikä}$$

$$Keskiaverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = Uranopeus2 / Uranopeus1$$

	tieveys Tiedot		1: alle 6.5 m (5.9m)		2: 6.5 - 7.4m (6.8m)		3: 7.5 - 8.4m (7.9m)		4: 8.5 - 9.4m (8.8m)		5: 9.5 - 10.4m (9.9m)		6: 10.5 - 12.4m (10.7)		7: 12.5 - ... (13.6m)	
	Uranopeus	Tiepituuus	us ka	km	us ka	km	us ka	km	us ka	km	us ka	km	us ka	km	us ka	km
KVL LKA																
KVL<350	0.443	1515.1	0.478	2460.4	0.578	136.7	0.332	6.4	0.494	5.6						
KVL 350-800	0.369	246.0	0.415	2263.3	0.425	675.8	0.537	93.9	0.481	4.2	0.456	5.1	0.721	0.4		
KVL 801-1500	0.468	34.6	0.473	1034.3	0.526	1583.0	0.546	167.2	0.450	79.7	0.482	26.4	0.337	11.7		
KVL 1501-3000	0.377	9.0	0.708	193.0	0.808	1871.3	0.848	339.6	0.831	385.5	0.752	230.1	0.728	15.8		
KVL 3001-6000			1.108	18.4	1.132	412.8	1.276	330.2	1.176	673.8	1.019	419.1	0.945	71.5		
KVL 6001-12000					1.526	24.8	1.488	99.8	1.461	254.1	1.406	131.5	1.114	147.1		
KVL 12001-							2.714	5.9	2.421	18.4	1.657	20.8	1.853	37.4		
Kaikki yhteensä	0.433	1804.7	0.462	5969.3	0.684	4704.5	0.976	1043.1	1.104	1421.3	1.002	833.0	1.114	283.9		

	Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde	
	Tielev (6.5-7.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (7.5-8.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (8.5-9.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (9.5-10.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (10.5-12.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (12.5-)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (10.5-12.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (12.5-)/	Kesiverto tiepituus
KVL LKA	6.5	km	6.5-7.4)	km	7.5-8.4)	km	8.5-9.4)	km	9.5-10.4)	km	10.5-12.4)	km	10.5-12.4)	km	12.5-)	km
KVL<350	1.077	1930.8	1.211	579.9	0.574	29.7	1.488	6.0								
KVL 350-800	1.124	746.2	1.023	1236.8	1.264	251.9	0.896	20.0	0.947	4.7	1.583	1.4				
KVL 801-1500	1.009	189.0	1.113	1279.6	1.038	514.5	0.824	115.4	1.072	45.9	0.698	17.6				
KVL 1501-3000	1.880	41.7	1.141	600.9	1.049	797.2	0.979	361.8	0.905	297.8	0.969	60.3				
KVL 3001-6000			1.022	87.2	1.127	369.2	0.922	471.7	0.867	531.4	0.927	173.1				
KVL 6001-12000					0.975	49.8	0.982	159.3	0.962	182.8	0.793	139.1				
KVL 12001-							0.892	10.4	0.685	19.6	1.118	27.9				
Kaikki yhteensä	1.067	2907.7	1.479	3784.2	1.427	2012.2	1.131	1144.5	0.907	1082.1	1.112	419.4				
Painot keskiarv	1.10		1.10		1.08		0.94		0.90		0.89					

Mallissa on otettu huomioon kuulamylyllyarvon ja massatyypin vaikutus kulumiseen

Päällysteen ikä	2: 3- vuotta
Ajoratojen LKM	1
talvinopeus	80, 100

$$Uranopeus_{korj} = \frac{(URA - 2) \times 45}{P.ikä \times MT \times (9.4 + 2.21 \times KM)}$$

$$Keskiaverto = \sqrt{tiepituus2 \times tiepituus1}$$

$$Uranopeussuhde = \frac{Uranopeus2}{Uranopeus1}$$

	tieveys Tiedot		1: alle 6.5 m		2: 6.5 - 7.4m		3: 7.5 - 8.4m		4: 8.5 - 9.4m		5: 9.5 - 10.4m		6: 10.5 - 12.4m		7: 12.5 -	
	Uranopeus	Summa	korj ka	km	Uranopeus	Summa	Uranopeus	Summa	Uranopeus	Summa	Uranopeus	Summa	Uranopeus	Summa	Uranopeus	Summa
KVL LKA																
KVL<350																
KVL 350-800																
KVL 801-1500					0.285	1034.3	0.284	1583.0	0.283	167.2	0.207	79.7	0.229	26.4	0.045	11.7
KVL 1501-3000	0.270	9.0	0.513	193.0	0.585	1871.3	0.614	339.6	0.601	385.5	0.543	230.1	0.527	15.8		
KVL 3001-6000			1.160	18.4	1.191	412.8	1.343	330.2	1.237	673.8	1.072	419.1	0.994	71.5		
KVL 6001-12000					2.637	24.8	2.591	99.8	2.488	254.1	2.388	131.5	1.954	147.1		
KVL 12001-																
Kaikki yhteensä	0.270	1804.7	0.463	5969.3	0.663	4704.5	1.087	1043.1	1.263	1421.3	1.112	833.0	1.549	283.9		

	Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde		Uranopeus suhde	
	Tielev (6.5-7.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (7.5-8.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (8.5-9.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (9.5-10.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (10.5-12.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (12.5-)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (10.5-12.4)/	Kesiverto tiepituus	Tielev (12.5-)/	Kesiverto tiepituus
KVL LKA	6.5	km	6.5-7.4)	km	7.5-8.4)	km	8.5-9.4)	km	9.5-10.4)	km	10.5-12.4)	km	10.5-12.4)	km	12.5-)	km
KVL<350																
KVL 350-800																
KVL 801-1500			0.997	1279.6	0.997	514.5	0.732	115.4	1.105	45.9	0.198	17.6				
KVL 1501-3000	1.899	41.7	1.142	600.9	1.049	797.2	0.980	361.8	0.903	297.8	0.971	60.3				
KVL 3001-6000			1.027	87.2	1.127	369.2	0.922	471.7	0.867	531.4	0.927	173.1				
KVL 6001-12000					0.983	49.8	0.960	159.3	0.960	182.8	0.819	139.1				
KVL 12001-																
Kaikki yhteensä	1.714	41.7	1.433	1967.6	1.639	1730.7	1.162	1108.2	0.881	1057.9	1.393	390.0				
Painot keskiarv	1.90		1.04		1.05		0.93		0.90		0.86					
Leveyssuhde	1.162		1.155		1.120		1.118		1.088		1.267					
Leveyseksksp.	4.269		0.290		0.417		-0.689		-1.211		-0.625					



ISSN 1457-9871  
ISBN 951-803-542-3  
TIEH 3200952